

Aus dem Institut für Tierzucht und Tierernährung
des Fachbereiches Veterinärmedizin der
Freien Universität Berlin

UNTERSUCHUNGEN ZUM SELENBEDARF VON LEGEHENNEN UND ZUR SELENBESTIMMUNG IN ORGANISCHEN MATERIALIEN

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Bernhard Irsch

Tierarzt
aus Saarburg

Berlin 1984
Journal-Nr. 1186



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546612_0021

Druck: Copy-Center in Dahlem
LadenbergstraÙe 2-4
1000 Berlin 33
Tel. 831 40 25

Aus dem Institut für Tierzucht und Tierernährung
des Fachbereiches Veterinärmedizin der
Freien Universität Berlin

UNTERSUCHUNGEN ZUM SELENBEDARF VON LEGEHENNEN UND
ZUR SELENBESTIMMUNG IN ORGANISCHEN MATERIALIEN

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Bernhard Irsch

Tierarzt
aus Saarburg

Berlin 1984

Journal-Nr. 1186

Gedruckt mit Genehmigung
des Fachbereiches Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Fachbereichssprecher : Prof. Dr. F. Hörchner

Referent : Prof. Dr. Dr. h. c. K. Bronsch

Korreferent : Priv.-Doz. Dr. Reinwald

Tag der Promotion : 2. November 1984

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	Seite
1.0 EINLEITUNG	1
2.0 LITERATUR	2
2.1 Selen im tierischen Organismus	2
2.2 Zum Selenstoffwechsel	5
2.3 Die Glutathionperoxidase im tierischen Organismus	6
2.4 Selenunterversorgung	8
2.5 Selenübersversorgung	10
2.6 Zum Selenbedarf der Legehennen	11
2.7 Die Aktivität der selenabhängigen Glutathionperoxidase als Kriterium für die bedarfsgerechte Selenversorgung von Legehennen	13
2.8 Zur Selenbestimmung in Futtermitteln und Eiern mit einem Naßaufschluß	15
EIGENE UNTERSUCHUNGEN	
3.0 ARBEITSPLAN	17
4.0 VERSUCHSTIERE UND METHODEN	19
4.1 Zur Bestimmung von Selen in Futtermitteln und Eiern	19
4.2 Anlage und Durchführung des Versuches mit Legehennen	20
4.2.1 Versuchstiere	20
4.2.2 Haltung	20
4.2.3 Gruppeneinteilung	21
4.2.4 Fütterung	21
4.2.5 Bestimmung der zootechnischen Merkmale	23
4.2.6 Probengewinnung und Probenvorbereitung	23
4.3 Zur Bestimmung der Glutathionperoxidase-Aktivitäten	24
4.4 Statistische Auswertung	25

	Seite
5.0	ERGEBNISSE 26
5.1	Selenbestimmungen in Futtermitteln und Eiern mit der Hydrid-AAS und Naßaufschluß 26
5.1.1	Probenaufschluß 26
5.1.2	Selenbestimmung mit der Hydrid-AAS 27
5.2	Selengehalte in Futtermitteln und Eiern 31
5.3	Zootechnische Leistungen der Versuchstiere 33
5.4	Die Aktivitäten der Glutathionperoxidase 36
5.4.1	Se-GSH-Px-Aktivitäten im Plasma 36
5.4.2	Se-GSH-Px-Aktivitäten in den Erythrocyten 40
5.4.3	Se-GSH-Px- und Gesamt-GSH-Px-Aktivitäten in der Leber 40
6.0	DISKUSSION 44
6.1	Zur Selenanalytik und zu Selenanalysen in Futtermitteln und Eiern 44
6.2	Zu den zootechnischen Leistungen der Legehennen 45
6.3	Zu den Aktivitäten der Glutathionperoxidase bei unterschiedlicher Selenversorgung 46
6.3.1	Die Aktivitäten der Se-GSH-Px im Plasma 46
6.3.2	Die Aktivitäten der Se-GSH-Px in den Erythrocyten 48
6.3.3	Die Se-GSH-Px- und die Gesamt-GSH-Px-Aktivitäten in der Leber 49
6.4	Zur Frage der optimalen Selenversorgung der Legehennen 49
7.0	ZUSAMMENFASSUNG 51
7.1	Summary 53
8.0	LITERATURVERZEICHNIS 55
9.0	ANHANG 70
	Tabellen 15 - 19

ABKÜRZUNGEN

AAS	Atomabsorptionsspektrophotometer
ED	exsudative Diathese
Gesamt-GSH-Px	selenabhängige und selenunabhängige Glutathionperoxidase
GOT	Glutamat-Oxalacetat-Transaminase
GSH-Px	selenunabhängige Glutathionperoxidase
Hb	Hämoglobin
IU	internationale Einheiten
LW	Lebenswoche
NAA	Neutronenaktivierungsanalyse
Na_2SeO_3	Natriumselenit
Se	Selen
Se-GSH-Px	selenabhängige Glutathionperoxidase
TM	Trockenmasse
U_{37}	Aktivität der Glutathionperoxidase gemessen bei 37°C

1.0 EINLEITUNG

Selen (Se) ist integraler Bestandteil des Selenoenzyms Glutathionperoxidase (Se-GSH-Px). Nach bisheriger Erkenntnis besteht hierin die wichtigste Funktion des Spurenelementes im Organismus höherer Tiere. Mit der Aktivität dieses Enzyms steht somit ein empfindlicher Indikator zur Prüfung des Se-Bedarfes zur Verfügung. Nachdem sich die Angaben in der Literatur über die Höhe des Se-Bedarfes bei legenden Hennen widersprechen, sollen bei diesen Tieren zur Ermittlung der optimalen Se-Versorgung die Se-GSH-Px-Aktivitäten in Plasma, Erythrocyten und Leber bestimmt werden. Zu diesem Zweck werden die Hennen unterschiedliche Zulagen von Na_2SeO_3 erhalten. Die Versuchszeit wird auf die 17. bis 41. Lebenswoche beschränkt.

Die Bestimmung der Se-Gehalte in Futtermitteln und Eiern erfolgt im Atomabsorptionsspektrophotometer mit Hilfe der Hydridtechnik. Dies setzt eine Mineralisierung der Proben voraus. Hierfür gibt es verschiedene Wege. Mir wurde weiterhin zur Aufgabe gestellt, eine apparativ wenig aufwendige Methode des Naßaufschlusses so weit zu entwickeln, daß sie mit anderen Verfahren zu vergleichbaren Ergebnissen führt.

2.0 LITERATUR

2.1 Selen im tierischen Organismus

Selen wird im Tierkörper organspezifisch gespeichert. Darüber hinaus hängt das Ausmaß der Retention von der Art der aufgenommenen Se-Verbindung und von der Dauer der Se-Aufnahme ab. Die vergleichende Bestimmung der Retention im Tierkörper von Selen aus Natriumselenit (Na_2SeO_3) und Selenomethionin bzw. Selen pflanzlicher Herkunft war Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Die bessere Retention von Selen pflanzlicher Herkunft bzw. Selenomethionin gegenüber Natriumselenit-Se geht aus zahlreichen Untersuchungen hervor (SCOTT und THOMPSON, 1971; MILLER et al., 1972; CARY et al., 1973; CANTOR und SCOTT, 1974; CANTOR et al., 1975 a,b; LATSHAW, 1975; OSMAN und LATSHAW, 1976; ULLREY, 1976; MOKSNES und NORHEIM, 1982; MOKSNES, 1983).

BEHNE et al. (1976) ermittelten im Serum trächtiger Ratten weniger Selen als bei nicht trächtigen. Untersuchungen im Serum schwangerer Frauen erbrachten gleiche Ergebnisse (BEHNE und WOLTERS, 1979). Im Rattenhoden wird bei Mangelsituationen der Se-Gehalt lange konstant gehalten. Wird depletierten Tieren Selen zugeführt, so erfolgt die Speicherung bevorzugt im Hoden (BEHNE et al., 1982). Nach BURK et al. (1972) werden 25 % der Se-Dosis in den Testes retiniert. Welcher Zusammenhang zwischen dem Se-Gehalt in den Gonaden und dem Fortpflanzungsgeschehen besteht, ist noch ungeklärt. BOSTEDT und SCHRAMMEL (1983) untersuchten den Einfluß von intramuskulären Se-Injektionen auf den Se-Gehalt in Blutserum, Kotyledonen und Karunkeln bei Rindern. Der Se-Gehalt im Blutserum konnte durch die Se-Injektionen deutlich erhöht werden, während bei der Kontrollgruppe der vergleichsweise hohe Se-Gehalt in Kotyledonen und Karunkeln durch Se-Injektionen nicht mehr erhöht werden konnte.

Sulfatreiches Futter (2 g S/kg) senkt den Se-Gehalt der Schafwolle (WHITE und SOMERS, 1978; WHITE, 1980) und führt wahrscheinlich zu einer geringeren Se-Retention im Tierkörper von Schaf (WHITE, 1980) und Ratte (ACUFF und SMITH, 1981). Bei Ratten vermindert Sulfat Wachstumsstörungen, hervorgerufen durch Natriumselenit und Selenat. Auch die renale Se-Ausscheidung wird gefördert (GANTHER und BAUMANN, 1962).

SCOTT und THOMPSON (1971) sowie ARNOLD et al. (1973) untersuchten den Se-Gehalt in Organen der Legehennen in Abhängigkeit von der Höhe der Se-Zufuhr. Aus der Abb. 1 kann die organspezifische Se-Retention ersehen werden.

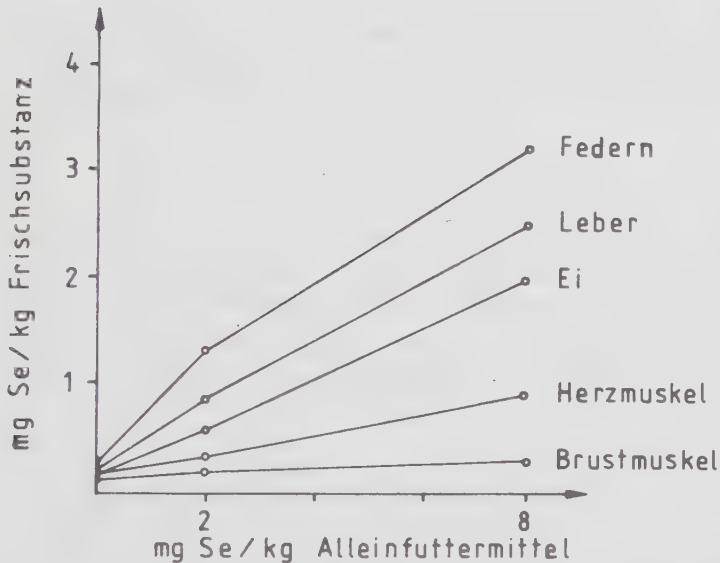


Abbildung 1: Se-Gehalt im Tierkörper von Legehennen nach Verfütterung einer Glucose-Torulahefe-Diät (0,02 mg Se/kg) und Se-Supplementation mit Na_2SeO_3 (nach ARNOLD et al., 1973)

Bereits 1938 bestimmten MOXON und POLEY die Se-Konzentration in Eiern in Abhängigkeit von der Höhe der Se-Zufuhr. Die Rationen wurden aus selenreichen Futtermitteln zusammengestellt und enthielten 2,5 bis 10 mg Se/kg. Wenn auch die Ergebnisse aufgrund der verwendeten Analysentechnik nur bedingt mit den heutigen vergleichbar sind, so zeigt die Untersuchung dennoch, daß der Se-Gehalt der Eier von der Höhe der Se-Zufuhr abhängt, wobei in dieser Untersuchung der Se-Gehalt im Eiklar stärker anstieg als im Eidotter (Abb. 2). Der höhere Se-Gehalt

Se [mg/kg] in Eiklar und Eidotter

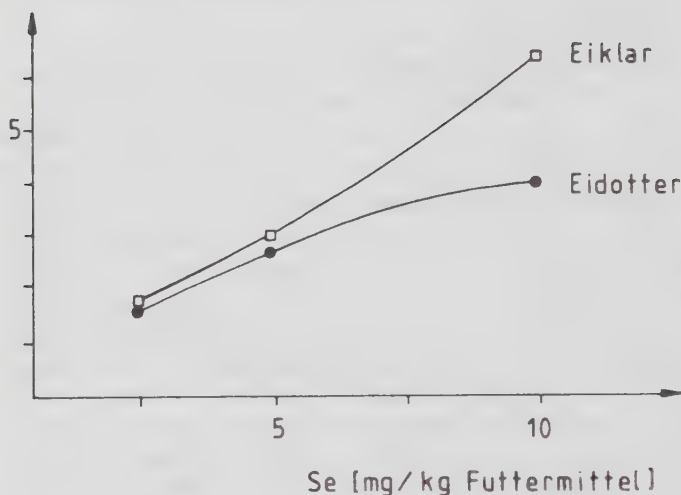


Abbildung 2: Se-Gehalte im Eidotter und Eiklar (bezogen auf Frischsubstanz) bei unterschiedlichem Se-Gehalt der Futtermittel (nach MOXON und POLEY, 1938)

im Eiklar nach der Verfütterung der selenreichen Rationen hat seine Ursache darin, daß die in Pflanzen überwiegend vorliegende Se-Verbindung, nämlich Selenomethionin (OLSON et al., 1970), wie Methionin vorwiegend im Eiklar gespeichert wird (OCHOA-SOLANO und GITLER, 1968; CANTOR und SCOTT, 1974; LATSHAW und OSMAN, 1974; LATSHAW, 1975; LATSHAW und BIGGERT, 1981; MOKSNES, 1983). Selenocystein wird dagegen, wie auch anorganisches Selen aus Na_2SeO_3 , bevorzugt im Eidotter gespeichert (CANTOR und SCOTT, 1974; LATSHAW, 1975; LATSHAW und BIGGERT, 1981; MOKSNES und NORHEIM, 1982).

Wird der Se-Gehalt in der Legehennen-Ration erhöht, so steigt die Se-Konzentration in Geweben und Produkten an und erreicht nach einer bestimmten Zeit einen Höchstwert (ARNOLD et al., 1972, 1973;

CANTOR und SCOTT, 1974; LATSHAW und OSMAN, 1975; ORT und LATSHAW, 1978). So konnten ORT und LATSHAW (1978) nach 21 Tagen Se-Supplementation keine weiteren Erhöhungen des Se-Gehaltes im Eidotter feststellen. Entsprechend verhält sich der Se-Gehalt bei Se-Depletion.

Keinen Einfluß auf den Se-Gehalt im Hühnerei hat das Alter der Legehennen erkennen lassen (ARNOLD et al., 1973). Ebenso sind hormonelle Auswirkungen auf die Se-Retention bei Legehennen bislang noch nicht nachgewiesen.

2.2 Zum Selenstoffwechsel

Nachdem die Essentialität des Selens für die Ratte (SCHWARZ und FOLTZ, 1957) und das Huhn (THOMPSON und SCOTT, 1970) nachgewiesen worden war, befaßten sich zahlreiche Untersuchungen mit dem Selenstoffwechsel. Tracerbestimmungen mit radioaktivem Selen und die Bestimmung der Se-GSH-Px im Gewebe sind empfindliche Methoden, um die Verfügbarkeit des Selens zu bestimmen und den Se-Stoffwechsel aufzuklären.

Selenomethionin, die bedeutendste Se-Verbindung in Pflanzen, wird wie Methionin als solche in das Körperprotein eingebaut (McCONELL und HOFFMAN, 1972). Das so inkorporierte Selen steht erst nach dem Abbau des Körperproteins für die Synthese der Se-GSH-Px zur Verfügung. Die Höhe der Methioninversorgung wirkt dabei insofern regulierend, als bei Methioninmangel die Verfügbarkeit des Selens für die Enzymsynthese weiter abnimmt. LATSHAW und OSMAN (1975) vermuten, daß Selenocystein dagegen eine Zwischenstufe zu einer anorganischen Se-Verbindung darstellt, die nicht in das Körperprotein eingebaut wird. Selenocystein wurde bisher lediglich in der Se-GSH-Px von Rattenlebern und in bakteriellen Selenoproteinen nachgewiesen (FORSTROM et al., 1978; WENDEL et al., 1978).

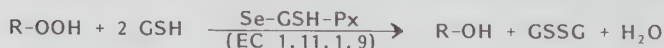
Die Verfügbarkeit einer bestimmten Se-Verbindung bzw. von Selen in Futtermitteln ist abhängig von dem zugrunde gelegten Kriterium. Während anorganisches Natriumselenit eine stärkere Erhöhung der Se-GSH-Px-Aktivität im Plasma bewirkt als Selenomethionin bzw. Selen aus Futter-

mitteln (GABRIELEN und OPSTVEDT, 1980 b), zeigte Selenomethionin bei der Verhütung der Pancreasfibrose bei Küken eine vierfach größere Verfügbarkeit als Selenit (CANTOR et al., 1975 b). Selenomethionin wird vor allem im Pancreas angereichert. Wie jedoch bereits dargestellt, verändert sich die Verteilung des Elements bzw. der Se-GSH-Px in den verschiedenen Geweben in Abhängigkeit von der Se-Versorgung und anderen nutritiven Faktoren. Selen bildet z.B. mit Schwermetallen Protein-komplexe. Die Toxizität der Schwermetalle wird von der Höhe der Se-Zufuhr beeinflusst; umgekehrt ist die Verfügbarkeit des Selen von der Konzentration der Schwermetalle abhängig (HILL, 1975; ÜBERSCHÄR et al., 1982). Andere, den Se-Stoffwechsel beeinflussende Faktoren sind u.ä. Antioxidantien, Vitamin A (COMBS, 1976), Ascorbinsäure (COMBS und PESTI, 1976), Vitamin E (PIERCE und TAPPEL, 1977) Vitamin B₆ (YASUMOTO et al., 1979) und polychlorierte Biphenyle (COMBS und SCOTT, 1975) sowie Sulfat (GANTHER und BAUMANN, 1962; ACUFF und SMITH, 1981).

Die Se-Ausscheidung erfolgt über Harn, Kot, Atemluft, tierische Erzeugnisse, aber auch über Federn, Haare und Hautabschilferungen. Selen wird im Harn als Trimethylselenid (PALMER et al., 1969; BYARD, 1969), bei hohen Se-Gaben auch mit der Atemluft als Dimethylselenid ausgeschieden (BURK et al., 1972; GANTHER und HSIEH, 1974; COKER und DIPLOCK, 1978; SANDHOLM, 1980). Die Ausscheidung im Harn ist abhängig von der Se-Zufuhr (GANTHER et al., 1966; BURK et al., 1972; FELL et al., 1980). Ein Einfluß des Geschlechtes auf die Harnausscheidung wurde nicht festgestellt.

2.3 Die Glutathionperoxidase im tierischen Organismus

Selen ist integraler Bestandteil der Se-GSH-Px (FLOHÉ et al., 1973; HOEKSTRA et al., 1973; NAKAMURA et al., 1974), eines Enzyms, das die Umwandlung schädlicher Peroxide in Hydroxyverbindungen katalysiert:



Die Schutzwirkung der Se-GSH-Px gegen Hämolyse und Hämoglobin-oxidation erkannte MILLS (1957) in Rindererythrocyten. In Erythrocyten und Zellmembranen entgiftet die Se-GSH-Px freies Wasserstoffperoxid und

die Peroxide ungesättigter Fettsäuren. Auch im Cytosol sowie in Mitochondrien und Mikrosomen wirkt die Se-GSH-Px (NOGUCHI et al., 1973 b; OSHINO und CHANCE, 1977). In den polymorphkernigen Granulocyten erfolgt im Laufe der Infektionsabwehr eine Peroxid- und Superoxidbildung (HOLMES et al., 1967). Der entstehende Überschuß an Peroxiden muß mit Hilfe der Se-GSH-Px abgebaut werden, um die Integrität der Zelle zu erhalten. Ein Se-Mangel bewirkt zwar keine Phagocytoseunfähigkeit, aber die Erreger können nicht mehr abgebaut werden (ARTHUR, 1979). DIETERT et al. (1983) konnten bei einem Selen/Vitamin E-Mangel verminderte Phagocytosefähigkeit und Veränderungen im Blutbild beobachten.

Die Se-GSH-Px ist wahrscheinlich hepatischen Ursprungs. FIDLER et al. (1980) führten Se-depletierten Küken (0,03 mg Se/kg Alleinfutter) einmalig 20 µg Selen in Form von Na₂SeO₃ durch Kropfintubation zu und bestimmten die Se-GSH-Px-Aktivitäten in Leber und Plasma. Der Anstieg der Se-GSH-Px-Aktivität erfolgte zuerst in der Leber, später und ausgeprägter jedoch im Plasma.

Die Se-GSH-Px hat die Struktur eines Tetramers mit einem Molekulargewicht von etwa 80 000 (AWASTHI et al., 1975; LADENSTEIN und WENDEL, 1976; LADENSTEIN et al., 1979; SUNDE et al., 1978). Die Untereinheiten - Peptidketten mit tierartig unterschiedlicher Aminosäurenfrequenz - tragen je ein Se-Atom auf ihrer Oberfläche (LADENSTEIN et al., 1978; FLOHÉ et al., 1979), und zwar als Selenocystein (FORSTROM et al., 1978).

Die Se-GSH-Px hat gegenüber Glutathion eine hohe Substratspezifität, die jedoch hinsichtlich der zu entgiftenden Peroxide gering ist. Wie aus nachstehender Übersicht hervorgeht, sind in vitro fast alle Hydroperoxide, organische und anorganische, Substrate der Se-GSH-Px. Folgende Funktionen der Se-GSH-Px gelten als nachgewiesen (FLOHÉ et al., 1979):

1. Schutz der Erythrocyten vor Peroxiden,
2. Abbau von Wasserstoffperoxid in Kompartimenten mit niedriger oder fehlender Katalaseaktivität,
3. Abbau von Wasserstoffperoxid und Schutz vor Lipidperoxiden in der Leber.

In der Leber kommt zusätzlich noch eine selenunabhängige Glutathionperoxidase (GSH-Px) vor. Im Unterschied zur Se-GSH-Px katalysiert diese nur den Abbau organischer Peroxide. Diese Substratspezifität erlaubt die analytische Unterscheidung von Se-GSH-Px und GSH-Px. Der Anteil der Se-GSH-Px-Aktivität an der Gesamtaktivität der Glutathionperoxidase (Gesamt-GSH-Px) schwankt je nach Tierart. In der Kükenleber beträgt der Anteil der Se-GSH-Px-Aktivität an der Gesamt-GSH-Px-Aktivität nach LAWRENCE und BURK (1978) 30 %. Die Autoren weisen deshalb darauf hin, daß Glutathionperoxidasebestimmungen, die diese Unterscheidung nicht treffen, zu falschen Aussagen führen können. Der Anteil der Se-GSH-Px-Aktivität an der Gesamtaktivität erwies sich jedoch als abhängig von der Höhe der Se-Zufuhr. Bei Legehennen in der 33. Lebenswoche betrug dieser Anteil je nach Se-Gehalt des Alleinfutters (0,06 - 1,56 mg Se/kg) 0 - 82 % (SCHAFER et al., 1982).

Lipidperoxide entstehen bei reichlicher Zufuhr an ungesättigten Fettsäuren und einem Mangel an physiologischen Antioxidantien wie Vitamin E (CHOW et al., 1973). Als Maß für die Lipidperoxidation gilt oxidiertes Glutathion und Malonaldehyd (SIES und SUMMER, 1975; HÖGBERG et al., 1975; OSHINO und CHANCE, 1977; BRADY und ULLREY, 1978; SIES et al., 1978; SMUTNA et al., 1978; JENSEN et al., 1979) wie auch die Bestimmung von Äthan und Pentan, den Zersetzungsprodukten einer Lipidperoxidation, in der Atemluft (HAFEMAN und HOEKSTRA, 1977 a,b; TAPPEL und DILLARD, 1981; DOUGJERTY und HOEKSTRA, 1982). Die Bedeutung der Peroxide für die Radikalbildung und die Folgen für den Organismus wurden in Übersichtsarbeiten von ZIMMERMANN (1982), REMMER (1982), BEUTER (1982) und SCHMID (1982) erörtert.

2.4 Selenunterversorgung

Selen spielt für die Funktionsfähigkeit der Bauchspeicheldrüse von Küken eine bedeutende Rolle. Küken, die unter einem schweren Se-Mangel leiden, können auch Vitamin E nicht ausreichend resorbieren. Die eintretende Depletion an beiden nutritiven Faktoren führt bei Küken nach Entstehung der ED häufig zum Tode (THOMPSON und SCOTT, 1970).

Bei Küken kommt es infolge eines Se-Mangels auch bei ausreichender Versorgung mit Vitamin E zur Pancreasatrophie und -fibrose (THOMPSON und SCOTT, 1970; NOGUCHI et al., 1973 a). Enthält eine Ration 15 - 20 IU Vitamin E/kg, so sind bei einem Se-Gehalt in der Ration von 0,1 mg/kg auch unter Praxisbedingungen keine klinischen Se-Mangelerscheinungen zu befürchten (GRIES und SCOTT, 1972). Der Se-Mangel führt zu niedrigen Plasmacopherolgehalten, höheren Neutralfettkonzentrationen im Kot, höheren Gallengewichten, verminderten Pancreasgewichten, erhöhten Aktivitäten der Plasma-GOT und niedrigen Trypsin- und Lipaseaktivitäten. Es scheint eine verminderte Fetthydrolyse infolge eines Lipasemangels vorzuliegen. Dadurch ist die Micellenbildung aus Gallensäuren und Lipiden vermindert und die Vitamin E-Resorption unzureichend. Wurden selenarme Rationen mit freien Fettsäuren ergänzt, so stieg die Resorption des Vitamin E an und die Kükenmortalität nahm ab. Die Pancreasfibrose wurde jedoch nicht verhindert (THOMPSON und SCOTT, 1970).

Bei Se-Mangelküken ist nach BUNK und COMBS (1981) die Bildung von Cystein aus Methionin unzureichend. Als Folge des auftretenden Cysteinmangels tritt eine geringere Gewichtszunahme, ein erhöhter Futteraufwand und eine erhöhte Mortalität auf. Wird dann L-Cystin supplementiert, so tritt eine wesentliche Verbesserung ein, bei der Zulage von L-Methionin hingegen nicht. Die Pancreasatrophie konnte nur durch eine Se-Supplementation verhindert werden. COMBS (1981) konnte bei Se-Mangelküken in der 2. LW eine Zunahme der Katalase- und Superoxiddismutaseaktivität und eine Abnahme der Se-GSH-Px- und Glutathionreduktaseaktivität feststellen.

Bei Legehennen wurden 2 - 3 Monate nach der Umstellung auf eine Se-Mangelration ein Abfall der Legeleistung, Mausererscheinungen, Anzeichen für die ED und ein vergrößertes Herz beobachtet (LATSHAW und OSMAN, 1974). Die Bedeutung von Selen für die Fortpflanzung untersuchten LATSHAW et al. (1977). Als Folge der Verfütterung einer Ration mit 0,07 mg Se/kg wurden geringere Gewichtszunahmen, makrocytäre Anämie, embryonale Frühsterblichkeit, verminderte Schlupffähigkeit und eine große Zahl nicht befruchteter Eier beobachtet. In einer Legehennenherde konnten CANTOR und SCOTT (1974) durch Supplementation einer selenarmen Ration

(0,03 mg Se/kg) mit 0,1 mg Se/kg die Legeleistung verbessern. Ebenso konnte MOKSNES (1983) durch Supplementation einer Ration, die 0,3 mg Se/kg enthielt, mit 0,1 mg Se/kg in Form von Selenomethionin signifikant höhere Legeleistungen beobachten.

Bei Legehennen wird der Se-Mangel als mitbeteiligte Ursache für das Zustandekommen des Fettlebersyndroms diskutiert. HAGHIGHI-RAD und POLIN (1982) haben hierüber eine Übersichtsarbeit, ergänzt durch eigene Versuche, veröffentlicht. Hiernach kann von einem gesicherten Zusammenhang zwischen einem Se-Mangel und dem Fettlebersyndrom nicht gesprochen werden.

2.5 Selenübersversorgung

Die überhöhte Zufuhr von Selen führt auch beim Geflügel zu Toxizitätserscheinungen. Bereits in den dreißiger Jahren begannen umfangreiche Untersuchungen. TULLY und FRANKE (1934) vermuteten Se-Überdosierungen als Ursache für gehäuft auftretende Embryonendeformationen und verminderte Schlupffähigkeit der Küken. POLEY et al. (1937) verfütterten selenreiche Getreide (15,1 mg Se/kg) an Legehennen. Während die Legeleistung unverändert blieb, nahmen Eigröße, Gewichtszunahmen sowie die Schlupffähigkeit ab und die Embryonenmißbildungen zu. POLEY und MOXON (1938) ergänzten Rationen von Zuchthennen mit bis zu 10 mg Se/kg. Auswirkungen auf die Schlupffähigkeit konnten ab 5 mg Se/kg beobachtet werden. Das Wachstum der Küken zeigte bei allen Stufen keine Veränderungen, die Kükenmortalität war nur bei der höchsten Zulagegruppe (10 mg Se/kg) erhöht. NASH et al. (1983) supplementierten das Trinkwasser von Küken mit bis zu 4 mg Se/kg in Form von Na_2SeO_3 . Wollte man die über das Trinkwasser zugeführte Se-Menge über ein Futtermittel verabreichen, so müßte dies rechnerisch etwa 9,5 mg Se/kg enthalten. Die Untersucher konnten dabei eine verminderte Futteraufnahme und geringere Gewichtszunahmen feststellen. THAPAR et al. (1969) befanden 2 mg Se/kg im Legehennenfutter für unschädlich, 8 mg Se/kg verminderten jedoch die Gewichtszunahmen, Legeleistung, Eigewichte, Schlupffähigkeit und erhöhten den Futteraufwand. ARNOLD et al. (1973) untersuchten die Auswirkungen unterschiedlicher Se-Supplementationen auf Mortalität

und Wachstum bei Küken, Jung- und Legehennen. Eine Se-Zulage von 2 mg/kg Alleinfuttermittel führte zu leicht erhöhten Gewichtszunahmen bis zur 12. LW, später war kein Effekt mehr nachzuweisen. Bei einer Zulage von 8 mg Se/kg war die Mortalität erhöht und die Schlupfrate vermindert. ORT und LATSHAW (1978) untersuchten die Toxizität von Na_2SeO_3 für Legehennen. In der 32. - 60. LW konnten die Untersucher keine behandlungsbedingten Unterschiede bezüglich der Legeleistung, des Eigewichtes oder der Fruchtbarkeit der Hennen feststellen. Lediglich die Schlupfrate war ab einer Zulage von 5 mg Se/kg vermindert. In der 60. - 72. LW wurden geringere Eigewichte und Schlupfraten ab einer Se-Zulage von 7 mg/kg beobachtet, die Legeleistung war erst ab einer Se-Zulage von 9 mg/kg Alleinfuttermittel vermindert.

MOXSNEs und NORHEIM (1982) supplementierten eine Basisration, die 0,17 mg Se/kg enthielt mit bis zu 6 mg Se/kg. Zwischen den Gruppen konnte hinsichtlich der Legeleistung kein Unterschied beobachtet werden. In einem Wiederholungsversuch (MOXSNEs, 1983) wurde eine Ration, die ausschließlich Selen pflanzlicher Herkunft enthielt (0,3 mg Se/kg Alleinfutter), mit bis zu 6 mg Se/kg in Form von Selenomethionin supplementiert. Es konnten keine Toxizitätserscheinungen beobachtet werden. Die Eigewichte der Gruppe, die eine Ration mit 6,3 mg Se/kg erhielt, waren signifikant höher als die der Vergleichsgruppen.

Nach den Untersuchungen der Mehrzahl der Autoren liegt die Grenze der Se-Verträglichkeit bei etwa 5 mg Se/kg Alleinfutter. Darüber hinaus verringert sich die Schlupffähigkeit und ab 8 mg Se/kg Alleinfutter auch die Legeleistung und die Eigewichte. Außerdem steigt der Futteraufwand.

2.6 Zum Selenbedarf der Legehenne

Zum Se-Bedarf der Legehenne liegen nur wenige Untersuchungen vor. Überwiegend wurden als Kriterien nur die Legeleistung und der Futteraufwand gewählt.

So haben THAPAR et al. (1969) den Se-Gehalt einer Mais-Soja-Ration von 0,5 mg Se/kg durch Se-Zulagen mit Na_2SeO_3 erhöht. Die Rationen enthielten somit 0,5 sowie 2,5 und 8,5 mg Se/kg. Nach den genannten Merk-

malen erwiesen sich die Rationen mit 0,5 und 2,5 mg Se/kg als gleichwertig. 8,5 mg Se/kg senkte dagegen die Legeleistung und erhöhte den Futteraufwand erheblich.

Dieser Befund steht in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von ARNOLD et al. (1973). Die von den Untersuchern verfütterte Mais-Soja-Ration enthielt 0,45 mg Se/kg pflanzlicher Herkunft. Durch Zulage von 2 mg Se/kg als Na_2SeO_3 konnte die Legeleistung während der 24. bis 64. LW von 61,2 auf 69,9 % erhöht werden. Nach der Zulage von 8 mg Se/kg betrug die Legeleistung statt dessen nur noch 58 %. ARNOLD et al. (1974) konnten in einem Wiederholungsversuch durch Se-Ergänzung einer Mais-Soja-Ration, die 0,45 mg Se/kg enthielt, keine Verbesserung der Legeleistung erreichen.

LATSHAW (1975) konnte dagegen zeigen, daß der Gehalt von 0,1 mg Se/kg in einer Mais-Soja-Ration genügt, um eine ausreichende Legeleistung zu gewährleisten. Die Supplementation dieser Ration mit 0,32 mg Se/kg durch Na_2SeO_3 oder die Verfütterung einer Mais-Soja-Ration mit einem Gehalt an pflanzlichem Selen von 0,42 mg/kg brachte keine Verbesserung. LATSHAW et al. (1977) halten, gemessen an der Legeleistung und erzeugter Eimasse, 0,08 mg Se/kg Alleinfutter für eine Legehenne in der 32. - 52. LW für bedarfsdeckend, zumal sich zwischen 0,08 und 0,12 mg Se/kg Alleinfutter in diesen Kriterien keine Veränderungen ergaben. ORT und LATSHAW (1978) supplementierten eine Mais-Torulahefe-Diät mit 0,1 sowie 1,0 und 3,0 mg Se/kg. Während in der 32. - 60. LW mit der Basisration, die 0,1 mg Se/kg enthielt, die Legeleistung gering war, konnte zwischen 0,2 und 5,1 mg Se/kg Alleinfutter eine Legeleistung von 78 bzw. 79 % festgestellt werden. Ab 5,1 mg Se/kg war die Schlupffähigkeit der Küken aus diesen Eiern gegenüber den übrigen Dosierungen signifikant vermindert. Aus den Ergebnissen wurde gefolgert, daß mit 0,2 mg Se/kg Alleinfutter die Se-Versorgung sichergestellt ist.

COMBS und SCOTT (1979) untersuchten den Se-Bedarf der Legehenne in der 32. - 52. LW erstmalig unter Einbeziehung der Se-GSH-Px-Aktivität im Plasma. Rationen, die 0,04 bis 0,65 mg Se/kg enthielten, waren bezüglich der Legeleistung, Eigewichte und des Futteraufwandes gleichwertig.

Die Se-GSH-Px-Aktivität war bei einem Se-Gehalt der Ration von 0,04 mg Se/kg Alleinfutter kaum meßbar. Sie stieg nach Supplementation von 0,05 mg/kg deutlich an und erreichte nach Zusatz von 0,1 bzw. 0,2 mg Se/kg Alleinfutter einen Wert, der auch nach Verfütterung von 0,65 mg Se/kg Alleinfutter nicht überschritten wurde. Die Se-GSH-Px-Aktivität konnte nur durch Se-Supplementation beeinflußt werden, nicht jedoch durch den Zusatz von 16,7 mg Vitamin E/kg oder 125 bzw. 500 mg Äthoxyquin/kg Alleinfutter.

Gemessen an der Se-GSH-Px-Aktivität im Plasma ist nach den Untersuchungen von SCHÄFER et al. (1982) jedoch zu vermuten, daß die ausreichende Se-Versorgung legender Hennen erst mit einem höheren Se-Gehalt als 0,24 mg/kg Alleinfutter erreicht wird. MOKSNES und NORHEIM (1982) supplementierten eine Ration, die 0,17 mg Se/kg enthielt, mit bis zu 6 mg Se/kg in Form von Na_2SeO_3 . Hinsichtlich der Legeleistung in der 30. LW konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden. In einem Wiederholungsversuch verfütterte MOKSNES (1983) eine aus Mais-Hafer-Sorghum-Heringsmehl vielseitig zusammengesetzte Ration, die 0,3 mg Se/kg enthielt und bei der die Legeleistung ohne Se-Zulage noch nicht optimiert war.

Aus dieser Darstellung ergibt sich, daß, mit Ausnahme der beiden letztgenannten Arbeiten, die meisten Autoren für Legehennen einen Bedarf von 0,1 - 0,2 mg Se/kg Alleinfutter postulieren. Dies fand seinen Niederschlag in der Arbeit von BLAIR et al. (1983), in der die Bedarfsschätzung aus verschiedenen Ländern zusammengefaßt sind und in denen ausgesagt wird, daß eine Bedarfsschätzung für die Ernährungsverhältnisse in den westeuropäischen Ländern noch nicht vorliegt.

2.7 Die Aktivität der selenabhängigen Glutathionperoxidase als Kriterium für die bedarfsgerechte Selen-Versorgung von Legehennen

Aus dem Voranstehenden ist zu entnehmen, daß Kriterien wie Legeleistung und Futteraufwand lediglich bei einer ausgeprägten Se-Überversorgung bzw. -Unterversorgung einen direkten Bezug zur Höhe der Se-Versorgung

erkennen lassen. COMBS und SCOTT (1979) konnten auch bei niedrigen Se-Dosierungen ausreichende Legeleistungen erzielen, dafür trat aber bei den Nachkommen gehäuft ED auf und die Lebendmassezunahme sowie die Se-GSH-Px-Aktivität im Plasma war geringer. Der Se-Gehalt im Tierkörper läßt jedoch eine stets meßbare Abhängigkeit von der Se-Versorgung erkennen (MOXON und POLEY, 1938; THAPAR et al., 1969; MILLER et al., 1972; ARNOLD et al., 1973, 1974; OMAZE und TAPPEL, 1974; LATSHAW, 1975; CANTOR et al., 1975 a; LATSHAW, 1976; LATSHAW et al., 1977; ORT und LATSHAW, 1978; KLING und SOARES, 1978; MOKSNES und NORHEIM, 1982; SCHÄFER et al., 1982). Untersuchungen von THAPAR et al. (1969), OMAZE und TAPPEL (1974), ORT und LATSHAW (1978) und MOKSNES und NORHEIM (1982) sprechen dafür, daß der Se-Gehalt im Organismus linear mit der Se-Zufuhr ansteigt, auch dann, wenn Rationen mit Se-Gehalten verfüttert werden, die toxisch wirken.

Im Gegensatz zur Bestimmung des Se-Gehaltes im Gewebe erfaßt die Ermittlung der Se-GSH-Px-Aktivität das biologisch aktive und damit physiologisch relevante Selen. Die Aktivität der Se-GSH-Px, deren Höhe von der Se-Zufuhr abhängt, ist daher zur Beurteilung der Se-Versorgung der Legehenne am ehesten geeignet. Die Linearität zwischen dem Se Gehalt der Ration und der Se-GSH-Px-Aktivität in den Erythrocyten konnten HAFEMAN et al. (1974), SCHÄFER et al. (1982) und WOLLGIEN (1983) nachweisen. Die Se-GSH-Px-Aktivität im Plasma hingegen verläuft, je nach dem Se-Gehalt der Ration, kurvilinear (COMBS und SCOTT, 1979; SCHÄFER et al., 1982; WOLLGIEN, 1983). Dasselbe haben GANTHER et al. (1976) für die Aktivität der Se-GSH-Px in der Leber festgestellt. Nach SCHÄFER et al. (1982) kann die Linearität zwischen der Enzymaktivität und der Se-Zufuhr nur bis zu einem Se Gehalt in der Ration beobachtet werden, der die ausreichende Se-Versorgung noch nicht gewährleistet. Wird der Bedarf erreicht (zwischen 0,3 und 0,9 mg Se/kg Alleinfutter), so kann eine Plateaubildung beobachtet werden. Das Plateau der Se-GSH-Px-Aktivitäten stellt sich bei Se-Konzentrationen ein, die weit unter denen liegen, die als toxisch gelten.

Die Se-GSH-Px-Aktivität im Plasma konnte durch Zusätze von Vitamin E (COMBS, 1976; PORTA et al., 1977; COMBS und SCOTT, 1979;

LANE et al., 1979; MEYER et al., 1981) oder Äthoxyquin (COMBS und SCOTT, 1979) nicht beeinflußt werden. Daher sind Veränderungen in der Se-GSH-Px-Aktivität bei Versuchen zur Bedarfsbestimmung von Selen durch Zusätze von Vitamin E zur Ration nicht zu befürchten.

2.8 Zur Selenbestimmung in Futtermitteln und Eiern mit einem Naßaufschluß

Die Bestimmung niedriger Se-Konzentrationen mit hinreichender Genauigkeit ist auf Grund eines in der letzten Zeit entwickelten Verfahrens mit Hilfe der Hydrid-AAS nach der Verbrennung der zu untersuchenden Probe im Sauerstoffstrom möglich (WOLLGIEN, 1983; SCHÄFER und BEHNE, 1984). Hiermit können noch Se-Konzentrationen von 0,01 mg/kg sicher bestimmt werden. Jedoch ist ein hoher Geräte- und Arbeitsaufwand erforderlich.

Von verschiedener Seite wurde deshalb versucht, eine Abtrennung des Selens von der organischen Matrix statt im Sauerstoffstrom mit einem Säureaufschluß durchzuführen. Hierbei entstehen jedoch leicht Se-Verluste, wobei die Art der Aufschlußgefäße, die gewählten Temperaturen und auch die Zusammensetzung des Säuregemisches eine wichtige Rolle spielen.

Zur Vermeidung von Se-Absorptionen an die Wand des Aufschlußgefäßes, die bei Glas bis zu 52 % betragen können, ist die Verwendung von Quarzgefäßen empfehlenswert (RAPTIS, 1979).

Über die Verwendung von Säuregemischen und oxidierend wirkenden Reagenzien, die bei unterschiedlichen Temperaturen geeignet sind, organische Proben vollständig und ohne Se-Verluste zu mineralisieren, gibt es zahlreiche Untersuchungen. Hauptsächlich werden Säuremischungen verwendet, die ein hohes Oxidationspotential aufweisen. Einen Überblick über die Vor- und Nachteile verschiedener Gemische geben RAPTIS et al. (1983).

Die Aufschlußtemperatur ist eine weitere kritische Größe, da Se-Verluste durch Verflüchtigung bzw. unvollständige Mineralisierung auftreten können, wenn die entsprechenden Grenztemperaturen nicht eingehalten werden.

Durch die Verwendung oxidierend wirkender Aufschlußreagenzien liegt Selen in der Aufschlußlösung vorwiegend in hexavalentem Zustand vor. Da für die Se-Bestimmung mit der Hydrid-AAS nur der tetravalente Zustand des Selenes geeignet ist, muß Se (VI) zu Se (IV) durch Salzsäure reduziert werden (u.a. RAPTIS, 1979).

Die nach einem Naßaufschluß vorliegenden Lösungen enthalten jedoch neben Selen eine Reihe von Begleitelementen der Probenmatrix, welche die Hydridbildung stören (PIERCE und BROWN, 1976; MEYER et al., 1979; ROBBINS und CARUSO, 1979). Nach SMITH (1975) bewirken Fe^{3+} , Co^{2+} , Cd^{2+} und Pb^{2+} eine geringe Signaldepression, während Ag^+ , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Hg^{2+} , Sn^{2+} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, J^- , MnO_4^- und NO_3^- durch Interferenz sehr stark stören. Bei der Bestimmung des Se-Gehaltes mit der Hydrid-AAS nach dem Naßaufschluß muß daher zur Kontrolle die Additionsmethode angewendet werden.

EIGENE UNTERSUCHUNGEN

3.0 ARBEITSPLAN

Im Literaturkapitel wurde dargelegt, daß Selen seine wichtigste Stoffwechselfunktion in der Se-GSH-Px ausübt. Die Aktivität dieses Enzyms ist von der Se-Versorgung abhängig, wobei die Aktivitäten in Plasma und Leber kurvilinear verlaufen. Es darf deshalb unterstellt werden, daß eine ausreichende Se-Versorgung dann vorliegt, wenn die Se-GSH-Px-Aktivitäten in diesen Organen eine Plateaubildung erkennen lassen. Deshalb sollte in Anlehnung an den Versuch von COMBS und SCOTT (1979) die Frage der optimalen Se-Versorgung der Legehenne unter Berücksichtigung der Se-GSH-Px-Aktivitäten in Plasma, Erythrocyten und Leber bestimmt werden.

Die Grundlage bildet ein Versuch mit Legehennen, denen, mit Ausnahme der Kontrollgruppe, Se-Zulagen in Form von Na_2SeO_3 gegeben werden. Die Tiere werden Rationen mit 0,2 - 0,4 - 0,6 - 0,8 mg Se/kg Alleinfutter erhalten. Es soll die Lebendmasse, die Lebendmassezunahme, Legeleistung, Eigewicht, der Futteraufwand je kg Eimasse sowie die Aktivitäten der Se-GSH-Px in Plasma, Erythrocyten und Leber und darüber hinaus die Gesamtaktivität der Se-GSH-Px in der Leber zu verschiedenen Zeiten ermittelt werden.

Für die Untersuchungen war eine zuverlässige Se-Analytik notwendig. Die Mineralisierung der organischen Proben zur Bestimmung von Selen erfolgte am Institut bisher durch die Verbrennung der Proben im Sauerstoffstrom (SCHÄFER und BEHNE, 1984). Für die Erkennung von systematischen Fehlern beim Probenaufschluß und die Erhöhung des Probendurchsatzes war es meine Aufgabe, ein weiteres Aufschlußverfahren zu entwickeln. Hierzu bot sich an, ein in der Literatur für eine voll mechanisierte Aufschlußapparatur beschriebenes Naßaufschlußverfahren (RAPTIS, 1979) zu modifizieren. Die Mineralisierung der Proben soll mit Hilfe eines einfachen Aluminiumheizblockes durchgeführt werden können. Säuregemisch, Probeneinwaage, Aufschlußdauer und Temperatur sind dabei so zu wählen, daß beim Aufschluß keine Se-Verluste auftreten. Das gesamte Bestimmungsverfahren und die Richtigkeit der Ergebnisse sind durch den Einsatz

eines NBS-Reismehlstandards und durch Vergleich verschiedener Methoden (Sauerstoffverbrennung, Neutronenaktivierungsanalyse (NAA)) zu überprüfen.

4.0 VERSUCHSTIERE UND METHODEN

4.1 Zur Bestimmung von Selen in Futtermitteln und Eiern

Die Mineralisierung der Futtermittel und Eiprobe wurde in Quarzgefäßen mit Hilfe eines Aluminiumheizblockes durchgeführt. Zum Probenaufschluß wurde ein Gemisch aus Chlorsäure/Perchlorsäure (20 %/7 %; Merck Art. 10741) und Salpetersäure (70 %; Baker Chemicals Art. 9598-1) verwendet. Die Reduktion des Se VI zum Se IV wurde mit Salzsäure (suprapur 30 %; Merck Art. 318) durchgeführt. Abschließend wurde den Proben Salzsäure (p.A.; Merck Art. 317) und Hydroxylammoniumchlorid (p.A.; Merck Art. 4616) zugesetzt. Das Verfahren ist im Ergebnisteil unter 5.1 im einzelnen beschrieben.

Nach der Mineralisierung der Probe mit dem Naßaufschlußverfahren erfolgte die Se-Bestimmung atomabsorptionsspektrometrisch mit der Hydridtechnik. Einzelheiten der Hydridtechnik sind bei SCHÄFER und BEHNE (1984) beschrieben. Hier sollen nur kurz die Grundzüge erläutert werden. Ein aliquoter Anteil der Aufschlußlösung (bis zu 2 ml) wird in das Reaktionsgefäß des Hydridsystems (MHS 20; Fa. Perkin-Elmer, Überlingen) des Atomabsorptionsspektrophotometers (AAS 430; Fa. Perkin-Elmer) überführt. Die Aufschlußlösung wird samt 10 ml vorgelegter 1,5 % HCl zur Austreibung von Sauerstoff 35 Sekunden mit Argon durchspült. Nach der Zuführung von Natriumborhydridlösung entsteht ein Gasgemisch aus Wasserstoff, Argon und Se-Hydrid. Dieses Gemisch wird in eine 900 °C heiße Quarzküvette geleitet und das Se-Hydrid dort thermisch zersetzt und atomisiert. Die Lichtabsorption in der Quarzküvette wird bei 196 nm gemessen und die Höhe des Absorptionspeaks registriert.

Die auftretende Signalunterdrückung macht die Anwendung der Standardadditionsmethode erforderlich. Die Signalunterdrückung kann wie folgt berechnet werden:

$$\text{Signalunterdrückung (\%)} = 100 - \frac{\text{Extinktion in Gegenwart von Fremdelementen}}{\text{Extinktion in Abwesenheit von Fremdelementen}} \times 100$$

Hierzu wird der zu untersuchenden Aufschlußlösung Selen in Form von Eichlösung zugesetzt und die Signalhöhe in Gegenwart von aus der Probe stammenden Fremdelementen mit der Signalhöhe verglichen, die durch reine Eichlösung erzeugt wird.

Bei der Standardadditionsmethode werden der zu untersuchenden Aufschlußlösung unterschiedliche Se-Mengen in Form von Eichlösung zugesetzt. Trägt man in einem Koordinatensystem die gemessene Extinktion auf der y-Achse und die zugesetzte Se-Menge auf der x-Achse ein und verbindet die Punkte, so bildet die entstehende Gerade einen Schnittpunkt mit der x-Achse. Dieser Achsenabschnitt entspricht dem Se-Gehalt in der Bestimmungslösung. Dieser Abschnitt kann nach der folgenden Gleichung berechnet werden (SACHS, 1978):

$$a_{xy} = \frac{(S_x)(S_y^2) - (S_y)(S_{xy})}{n S_y^2 - (S_y)^2}$$

a = Achsenabschnitt auf der x-Achse

x = Se-Zusatz zur Probelösung in ng

y = Extinktion bei 196 nm

S = Summe

n = Anzahl der Messungen

4.2 Anlage und Durchführung des Versuches mit Legehennen

4.2.1 Versuchstiere

Für den Versuch standen insgesamt 308 LSL-Hybrid-Junghennen zur Verfügung. Der Versuch erstreckte sich von der 14. bis zur 41. Lebenswoche (LW).

4.2.2 Haltung

Die Hennen wurden in Einzelkäfigen gehalten. Die Stalltemperatur betrug während des Versuches $20,0 \pm 0,6$ °C, die relative Luftfeuchtigkeit 65 ± 15 %. Von der 14. bis zur 19. LW wurde täglich 12 Stunden Licht gegeben, ab der 19. LW täglich 14 Stunden mit wöchentlicher Verlängerung um jeweils 30 Minuten auf höchstens 17 Stunden täglich.

4.2.3 Gruppeneinteilung

Die Junghennen wurden nach einer 14tägigen Eingewöhnungsphase in der 14. LW nach dem Zufall auf 4 Gruppen verteilt und dabei Untergruppen zu je 5 Tieren gebildet, denen ein gemeinsamer Futtertrog zur Verfügung stand. Zu Versuchsbeginn bildeten somit 77 Hennen eine Gruppe.

4.2.4 Fütterung

Von der 14. bis zur 17. LW erhielten die Tiere sämtlicher Gruppen zunächst ein Junghennen-Alleinfutter, das wie folgt zusammengesetzt war:

Mais	50,93 %
Sojaextraktionsschrot (440 g Rohprotein/kg)	15,00 %
Gerste	8,00 %
Hostalen	7,45 %
Luzernegrünmehl	6,00 %
Maiskleber	5,00 %
Vitaminvormischung	1,85 %
Spurenelementvormischung	1,85 %
Sojaöl	1,80 %
Phosphorsaurer Futterkalk	1,32 %
Kohlensaurer Futterkalk	0,54 %
Dinatriumphosphat	0,17 %
Viehsalz	0,09 %
	100,00 %

Analytisch wurden in der lufttrockenen Substanz festgestellt:

Trockenmasse	910,1 g/kg
Rohasche	52,5 g/kg
Rohprotein	168,2 g/kg
Rohfett	35,1 g/kg
Rohfaser	130,9 g/kg
Calcium	8,6 g/kg
Phosphor	7,1 g/kg

Die errechneten Gehalte an Aminosäuren entsprachen den gegenwärtigen Empfehlungen. Die Firma Hoffmann-La Roche hat den α -Tocopherolgehalt mit 3,8 mg/kg bestimmt. Der Se-Gehalt betrug nach eigenen Bestimmungen 0,19 mg/kg lufttrockener Substanz.

Das Alleinfutter stand ad libitum zur Verfügung und enthielt nach MÄNNER (1983) 10,6 MJ ME/kg lufttrockener Substanz.

Von der 17. LW an erhielten - mit Ausnahme der Kontrollgruppe A - die Versuchsgruppen Se-Zulagen in Form von Na_2SeO_3 (Tabelle 1).

Tabelle 1: Se-Gehalte im Junghennen-Alleinfutter ab der 17. LW (mg Se/kg lufttrockener Substanz)

Gruppe	Supplementation mit Na_2SeO_3 (mg Se/kg)	Gesamt-Se-Gehalt der Ration	Se-Gehalt ($\bar{x} \pm s$; $n = 10$)
A	-	0,2	$0,19 \pm 0,01$
B	0,2	0,4	$0,38 \pm 0,04$
C	0,4	0,6	$0,60 \pm 0,07$
D	0,6	0,8	$0,79 \pm 0,07$

Nachdem zu Beginn der 21. LW bei den Tieren eine Gruppenlegeleistung von 10 % erreicht war, wurde bis zum Versuchsende in der 41. LW ein Alleinfutter für Legehennen verfüttert. Diese Ration unterschied sich vom Junghennen-Alleinfutter lediglich dadurch, daß der Calciumgehalt auf Kosten des Hostalenzusatzes auf 33,2 g/kg angehoben wurde. Gleichzeitig wurde der Rohfasergehalt der Legehennenration mit 55,50 g/kg lufttrockener Substanz bestimmt. Mit Ausnahme der Ration für die Kontrollgruppe A ist dieses Futter wiederum mit Selen in Form von Na_2SeO_3 supplementiert worden (Tabelle 2).

Tabelle 2: Se-Gehalte im Legehennen-Alleinfutter ab der 21. LW
(mg Se/kg lufttrockener Substanz)

Gruppe	Supplementation mit Na_2SeO_3 (mg Se/kg)	Gesamt-Se-Gehalt der Ration	Se-Gehalt ($\bar{x} \pm s$; $n = 10$)
A	-	0,2	$0,20 \pm 0,04$
B	0,2	0,4	$0,42 \pm 0,04$
C	0,4	0,6	$0,63 \pm 0,06$
D	0,6	0,8	$0,81 \pm 0,07$

4.2.5 Bestimmung der zootechnischen Merkmale

Die Wägung der Einzeltiere und die Bestimmung des Futtermittelfressens von je 5 Hennen einer Untergruppe erfolgte von der 17. LW ab in 28tägigen Abständen. Zusätzliche Wägungen der Einzeltiere erfolgten vor Blutabnahmen und Versuchsschlachtungen. Ebenfalls in 28tägigen Abständen wurde der Futteraufwand je kg Eimasse, basierend auf der Wägung der Einzeleier, bestimmt.

4.2.6 Probengewinnung und Probenvorbereitung

B l u t

Bis zur 21. LW erfolgte die Blutentnahme ausschließlich bei nicht legenden Hennen, ab der 22. LW bei legenden Hennen. Die aus der V. ulnaris entnommenen 2 ml Vollblut wurden mit 200 µl 0,2 molarer EDTA-Lösung ungerinnbar gemacht. Zur Bestimmung der Se-GSH-Px-Aktivität im Plasma wurde stets Blut verschiedener, nach dem Zufall ausgewählter Tiere untersucht. Die Blutentnahme erfolgte zu Beginn der 17. LW bei je 3 Junghennen der Gruppen A - D und zu Beginn der 19., 21., 22., 28., 31. und 41. LW bei je 12 Hennen der Gruppen A - D. Vor der Bestimmung der Se-GSH-Px-Aktivität erfolgte die Bildung von Sammelproben aus dem Blut von je 3 Tieren einer Gruppe. Die Gewinnung des Plasma- und Erythrocytenhämolysates ist im einzelnen bei WOLLGIEN (1983) beschrieben. Die Se-GSH-Px-Aktivitäten in den Erythrocyten wurden in der 28. LW bestimmt.

Leber

Versuchsschlachtungen fanden in der 17., 19., 32. und 41. LW statt. Hierzu wurden in der 17. LW 3 Junghennen aus jeder Gruppe, bei den folgenden Schlachtungen je 12 Tiere der Gruppen A - D getötet. Nach der Entnahme erfolgte die Aufarbeitung zur Bestimmung der Se-GSH-Px- und Gesamt-GSH-Px-Aktivitäten.

Eier

Nach der Trennung der Eier in Schale, Eiklar und Eidotter erfolgte die Gefriertrocknung und anschließende Homogenisierung in einem Mörser. Die Se-Gehalte in den Eiern wurden in der 34. LW orientierend von je 2 Eiern der Gruppen A - D bestimmt, und zwar jeweils in Eiklar und Eidotter. Zur Untersuchung gelangten auch Eiprüben, deren Se-Gehalte mit der NAA bestimmt worden waren (SCHÄFER und BEHNE, 1984).

Futtermittel

An Futtermitteln gelangten die Versuchsrationen A - D von Jung- und Legehennen zur Untersuchung wie zum Vergleich auch solche, deren Se-Gehalt bereits von WOLLGIEN (1983) nach der Sauerstoffverbrennung bestimmt worden war. Die Entnahme der Versuchsrationen erfolgte an 5 verschiedenen Stellen aus dem Mischer. Nach mehrfachem, sorgfältigen Durchmischen wurden die Proben schonend auf eine Korngröße von 0,5 mm gemahlen und gründlich durchmischt. Weitere Einzelheiten sind bei WOLLGIEN (1983) beschrieben.

4.3 Zur Bestimmung der Glutathionperoxidase-Aktivitäten

Die Bestimmung der Aktivitäten der Se-GSH-Px in Plasma, Erythrocyten und Leber und der Gesamt-GSH-Px in der Leber erfolgte zu den oben angegebenen Zeiten jeweils unmittelbar nach der Entnahme der Proben nach der von PAGLIA und VALENTINE (1967) angegebenen und von WOLLGIEN (1983) im einzelnen beschriebenen Methode. Die Enzymaktivität wird dabei als $U_{37} = \Delta [NADPH] \times 0,868 \times \text{Minute}^{-1} \times [GSH]_0^{-1}$ angegeben.

4.4 Statistische Auswertung

Die arbeitstechnisch notwendig gewordene Bildung von Sammelproben aus Einzelproben vor der Enzymbestimmung läßt trotz der geringen Zahl der Meßwiederholungen eine varianzanalytische Auswertung der Enzymaktivitäten zu. Dabei dürfen die Varianzen nicht allzu inhomogen sein. Eine Prüfung auf Normalverteilung war nicht möglich. Es liegt jedoch kein Grund vor anzunehmen, daß die Werte nicht normalverteilt sind, zumal durch die Bildung von Sammelproben in der Regel eher eine der Normalverteilung nahekommende Werteverteilung erreicht wird.

Zur Bestimmung behandlungsbedingter Unterschiede wurde für alle gewählten Merkmale eine varianzanalytische Untersuchung durchgeführt. Ließ diese signifikante Unterschiede erwarten, so wurde der Tukey- bzw. der Scheffé-Test angewendet (SACHS, 1978). In den Tabellen sind den Mittelwerten mit $\pm$ die Standardabweichungen der Einzelwerte beigelegt. Differenzen zwischen Gruppenmittelwerten, die nicht einen oder mehrere hochgestellte Buchstaben gemeinsam haben, sind mit mindestens $P < 0,05$ signifikant.

5.0 ERGEBNISSE

5.1 Selenbestimmungen in Futtermitteln und Eiern mit der Hydrid-AAS und Naßaufschluß

5.1.1 Probenaufschluß

Auf Grund der Leichtflüchtigkeit von Selen bzw. dessen Verbindungen stellt der verlustfreie Aufschluß des in die pflanzliche und tierische Matrix inkorporierten Selen ein Hauptproblem naßchemischer Aufschlußverfahren dar. Säuremischungen mit einem hohen Oxidationspotential eignen sich am ehesten, Selen auch bei höheren Temperaturen in Lösung zu halten (RAPTIS et al., 1983). In der vorliegenden Arbeit wurde daher ein HNO_3 (70 %)/ HClO_3 (20 %)/ HClO_4 (7 %)-Säuregemisch eingesetzt. Die Optimierung der Aufschlußdauer und -temperatur erfolgte mit Hilfe des NBS-Reismehlstandards.

RAPTIS et al. (1983) schlagen eine Aufschlußtemperatur von 180 °C vor, MAILER und PRATLEY (1983) empfehlen eine Temperatur von 200 °C. Nach RAPTIS (1979) ist bei Verwendung des HNO_3 / HClO_3 / HClO_4 -Säuregemisches bei diesen Temperaturen noch kein Se-Verlust zu erwarten. Da jedoch mit dem hier eingesetzten Aufschlußsystem bei 180 °C Siedeverzüge auftraten, mußte die Mineralisierung bei 160 °C durchgeführt werden. Die Aufschlußdauer darf nicht zu kurz gewählt werden, um eine ausreichende Mineralisierung zu erreichen. Außerdem ist eine weitgehende Einengung der Aufschlußlösung erstrebenswert, um die eingesetzte Salpetersäure zu entfernen. Reste von Salpetersäure vermindern die Signalhöhe des Se-Signals (MAILER und PRATLEY, 1983). Bei Einhaltung des folgenden Zeit-Temperatur-Schemas: 60 Minuten bei 80 °C - 30 Minuten bei 120 °C - 45 - 60 Minuten bei 160 °C - zeigten die Se-Gehalte des Reismehlstandards eine gute Übereinstimmung mit dem zertifizierten Gehalt und dem Vergleichswert nach der Sauerstoffverbrennung.

Nach der Zersetzung des organischen Probenmaterials mit stark oxidierend wirkendem Aufschlußreagens liegt Selen in der Aufschlußlösung mindestens teilweise in der oxidierten sechswertigen Form vor. Vor der Se-Bestimmung

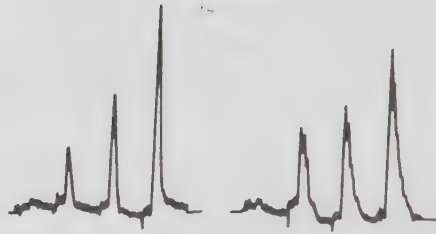
mit der Hydridtechnik ist eine Reduktion des Se (VI) zum Se (IV) notwendig, da die Umwandlung von Se (VI)-Verbindungen in gasförmiges Se-Hydrid nicht reproduzierbar und mit schlechter Ausbeute verläuft. Die Reduktion mit Salzsäure erfolgt nach folgender Reaktionsgleichung:



RAPTIS (1979) stellte Untersuchungen an, um die Abhängigkeit von HCl-Konzentration, Temperatur und Dauer der Reduktion für die Wiederingang von Selen zu bestimmen. Demnach können längere Reduktionszeiten zu Se-Verlusten führen. Die Anwendung einer höheren Temperatur verkürzt die Reduktionszeit erheblich. Wird die Reduktion bei einer Temperatur von 100 °C durchgeführt, so wird Selenat vollständig in Selenit umgewandelt, wenn die Normalität der HCl mindestens 3 beträgt. Die Reduktion wurde deshalb bei 100 °C über 20 Minuten unter Zugabe von 6 N HCl durchgeführt. Das zugesetzte Volumen entsprach dem nach der Einengung im Reaktionsgefäß verbliebenen Volumen. Die nach der Reduktion des sechswertigen Selenen möglicherweise noch verbliebenen Oxidationspotentiale, welche die Hydridbildung stören können, wurden durch den Zusatz von 1 ml M Hydroxylammoniumchloridlösung beseitigt. Zur Reduktion nitroser Gase sind abschließend 8 ml 6 N HCl (p.A.) zugesetzt worden.

5.1.2 Selenbestimmung mit der Hydrid-AAS

Die mit Futtermitteln und Eiern durchgeführten Untersuchungen zeigten, daß eine Unterdrückung des Se-Signals auftreten kann, da beim Naßaufschluß, wie bereits dargestellt wurde, die Störelemente nicht abgetrennt werden. Das Ausmaß der Signalunterdrückung ist von der Konzentration der Störelemente in der Bestimmungslösung abhängig. Je nach Zusammensetzung der Probe wurden Störungen in der Peakbildung u.a. in Form gespaltener Peaks sichtbar. Ein Beispiel ist in Abb. 3 angegeben.



Aliquoter Anteil der Einwaage in der Bestimmungslösung	7 mg	19 mg
Signalunterdrückung	12 %	47 %

Abbildung 3: Selenbestimmung im Kokosschrot mit der Hydrid-AAS. Abhängigkeit der Signalunterdrückung und der Peakform von dem in der Bestimmungslösung eingesetzten aliquoten Anteil der Futtermiteleinwaage. Zur Berechnung der Signalunterdrückung nach der Standardadditionsmethode Zusatz von 5 bzw. 15 ng Selen.

Auf Grund dieser Ergebnisse war es notwendig, den aliquoten Anteil der Einwaage in der Bestimmungslösung klein und die Störelementkonzentrationen möglichst nahe nicht mehr störender Grenzwerte zu halten. Zunächst sind daher Untersuchungen mit verschiedenen Futtermitteln und Eiprobe durchgeführt worden, in denen der Einfluß der Einwaage auf die Se-Ausbeute beim Hydridverfahren ermittelt und eine höchstzulässige Einwaagemenge abgeschätzt wurde.

Die Auswertung von 199 Se-Bestimmungen in Futtermitteln, bei denen gesplante Peaks auftraten, ergab, daß bei einem aliquoten Anteil der Einwaage in der Bestimmungslösung von 21 mg eine durchschnittliche Signalunterdrückung von 45 % auftrat. Auswertungen von Bestimmungen, bei denen keine Störungen in der Peakbildung beobachtet werden konnten, ergaben, daß ein aliquoter Anteil der Einwaage in der Bestimmungslösung

von 9 mg mit einer Signalunterdrückung von 12 % einherging. Der aliquote Anteil der Futtermiteleinwaage in der Bestimmungslösung wurde daher auf 10 mg beschränkt.

Die Auswertung von Se-Bestimmungen in den Eiprobe ergab, daß ein aliquoter Anteil der Einwaage in der Bestimmungslösung von 5 mg eine Signalunterdrückung von durchschnittlich 10 % zur Folge hatte.

Unter den gegebenen Bedingungen sind zum Naßaufschluß ca. 170 mg Futtermittel und ca. 80 mg Eiprobe pulver einzuwiegen.

Ein weiteres Problem bei der Hydrid-AAS ist das Schäumen im Reaktionsgefäß des Hydridsystems nach der Zuführung von Natriumborhydrid. Zur Vermeidung des Schäumens und der Signalunterdrückung bei der Se-Bestimmung im Blut schlagen WELZ et al. (1983) vor, die HCl-Vorlage im Reaktionsgefäß auf 50 ml zu erhöhen. Dieser Weg konnte bei den zu untersuchenden Futtermitteln und Eiprobe nicht beschränkt werden. Trotz einer HCl-Vorlage von 40 ml im Reaktionsgefäß konnten infolge des dennoch auftretenden Schäumens nur 100 µl Aufschlußlösung zupipettiert werden. Der Einsatz größerer Volumina Aufschlußlösung hätte zur Verunreinigung der Meßküvette mit Flüssigkeitspartikeln geführt und einen Küvettenwechsel erforderlich gemacht. Der Einsatz eines entschäumenden Mittels hatte keinen Einfluß auf die Schaumbildung nach der Zuführung von Natriumborhydrid. Bei einer Vorlage von 10 ml HCl im Reaktionsgefäß konnten höchstens 2 ml Aufschlußlösung zupipettiert werden, ohne daß infolge des Schäumens Flüssigkeitspartikel in die Meßküvette gelangten. Eine weitere Verringerung der HCl-Vorlage ist nach RAPTIS (1979) nicht empfehlenswert, da sonst die Meßgenauigkeit erheblich beeinträchtigt wird.

Auf Grund dieser Voruntersuchungen wurde der Naßaufschluß mit befriedigendem Ergebnis wie folgt durchgeführt:

1. 50 – 170 mg Untersuchungsmaterial einwiegen und in Quarzgefäße überführen.
2. Unter dem Abzug Zusatz von 6 ml Chlorsäure/Perchlorsäuregemisch und 4 ml 70 % Salpetersäure.
3. Gefäße mit Parafilm verschließen und über Nacht stehen lassen.

4. Parafilm entfernen und die Quarzgefäße nach folgendem Schema im Heizblock erhitzen:
 - 60 Minuten bei 80 °C (bzw. bis zur Auflösung der Matrix)
 - 30 Minuten bei 120 °C
 - 45 - 60 Minuten bei 160 °C (Einengen auf ein Volumen von 2 - 4 ml).
5. Quarzgefäße aus dem Heizblock nehmen und abkühlen lassen.
6. Reduktion des Se (VI) zum Se (IV) bei 100 °C über 20 Minuten nach Zusatz von 6 N HCl (suprapur) in einer Menge, die dem nach der Einengung im Quarzgefäß verbliebenen Volumen entspricht.
7. Quarzgefäße aus dem Heizblock nehmen und abkühlen lassen.
8. Zusatz von 1 ml 1 M Hydroxylammoniumchloridlösung und 8 ml 6 N HCl (p.A.).
9. Volumen bestimmen und in Polystyrolröhrchen überführen.
10. Reinigung der Quarzgefäße (entionisiertes Wasser, Kochen mit Detergens, entionisiertes Wasser, Kochen mit konzentrierter HCl (p.A.), entionisiertes Wasser, Aceton (p.A.), Trocknen im Trockenschrank).

Nach der Optimierung der Parameter für das Naßaufschlußverfahren ist die Frage nach dem minimalen Se-Gehalt von Interesse, der in einer Probe vorhanden sein sollte, um mit diesem Verfahren zuverlässige Se-Bestimmungen durchführen zu können. Zur Berechnung dieses Se-Gehaltes ist die Nachweisgrenze der Hydrid-AAS - definiert als die dreifache Standardabweichung des Untergrundrauschens -, der aliquote Anteil der Einwaage in der Bestimmungslösung und das Endvolumen der Aufschlußlösung von Bedeutung.

Die Nachweisgrenze der Hydrid-AAS für Selen liegt bei ca. 1 ng. Bei Futtermitteln ist ein aliquoter Anteil der Einwaage von 10 mg bzw. bei gefriergetrockneten Eiprobe ein Anteil von 5 mg einzusetzen. Bei Futtermitteln bedeutet dies, daß 170 mg eingewogen werden können bzw. 85 mg gefriergetrocknete Eiprobe. Um die Nachweisgrenze der Hydrid-AAS unter den gegebenen Bedingungen nicht zu unterschreiten, müssen im Futtermittel mindestens 0,1 mg Se/kg und in der gefriergetrockneten Eiprobe mindestens 0,2 mg Se/kg enthalten sein.

5.2 Selengehalte in Futtermitteln und Eiern

In der nachfolgenden Tabelle 3 sind die Se-Gehalte der untersuchten Futtermittel und deren Standardabweichungen angegeben. Bei den Proben handelt es sich um ausgewählte Futtermittel, die einen Se-Gehalt von 0,1 - 0,9 mg Se/kg TM aufweisen. Die nach dem naßchemischen Aufschluß mit der Hydrid-AAS ermittelten Werte sind den Ergebnissen von WOLLGIEN (1983) gegenübergestellt, die nach der Methode der Sauerstoffverbrennung bestimmt wurden.

Tabelle 3: Bestimmung von Selen in pflanzlichem Probenmaterial (mg Se/kg TM)

Probe	Ermittelte Gehalte: Naßaufschluß			Vergleichswerte ¹⁾ : Sauerstoffverbrennung		
	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n
Reismehlstandard (NBS)	0,383	0,024	(6)	0,367	0,034	(4)
Futtermittel : GETREIDESAMEN UND MOLLEREIPRODUKTE						
Maisarin	0,172	0,045	(5)	0,175	0,018	(4)
Corn gluten meal	0,267	0,016	(4)	0,224	0,012	(4)
Reiskleie (1)	0,133	0,002	(3)	0,082	0,003	(4)
Reiskleie (2)	0,126	0,030	(6)	0,092	0,005	(4)
PRODUKTE AUS DER OLINDUSTRIE						
Sojaschrot 50 % (1)	0,378	0,009	(4)	0,338	0,038	(4)
Sojaschrot 50 % (2)	0,294	0,022	(3)	0,292	0,012	(4)
Baumwollsaatschrot	0,360	0,042	(4)	0,357	0,014	(4)
Palmkernschrot	0,867	0,070	(6)	0,847	0,126	(4)
Kokosschrot	0,219	0,023	(5)	0,221	0,012	(4)
Sesamexpeller	0,940	0,055	(6)	0,931	0,018	(4)
Sojaextraktionsschrot	0,121	0,012	(6)	0,102	0,010	(4)
Erdnußschrot	0,213	0,024	(6)	0,220	0,009	(4)

¹⁾ WOLLGIEN, 1983

Beim Vergleich zeigt sich, daß die Werte gut übereinstimmen und das Naßaufschlußverfahren zur Se-Bestimmung in Futtermitteln geeignet ist. Die in dieser Arbeit zur Bestimmung des Se-Bedarfes von Legehennen verfütterten Versuchsrationen A - D enthielten, wie bereits im Kapitel 4.2.4 angegeben wurde, 0,2 - 0,8 mg Se/kg luft-trockener Substanz. Die Se-Gehalte wurden, wie die der ausgesuchten Futtermittel, mit dem beschriebenen naßchemischen Verfahren analysiert. Die Richtigkeit der Analysenergebnisse wird außerdem durch den als Kontrolle eingesetzten NBS-Reismehlstandard bestätigt.

Das Naßaufschlußverfahren mit einem Gemisch aus Salpetersäure und Chlorsäure/Perchlorsäure ermöglicht auch den Aufschluß des in die Eimatrix inkorporierten Selens. Zur Absicherung des Analysenverfahrens und Überprüfung der Aufschlußparameter wurden zunächst die Se-Gehalte von Eiern bestimmt, die bereits mit einem anderen Analysenverfahren, der NAA (SCHÄFER und BEHNE, 1984) untersucht wurden. Die nachstehende Tabelle 4 gestattet den Vergleich der Se-Gehalte, die durch die NAA und mit der Hydridtechnik nach Naßaufschluß der Proben bestimmt wurden.

Tabelle 4: Se-Gehalte in Ei-proben im Vergleich verschiedener Methoden (mg Se/kg TM; n = Zahl der Analysen)

Methode		Naßaufschluß			Neutronenaktivierungs-analyse ¹⁾	
		$\bar{x}$	s	n		n
Eidotter	1	2,21 ± 0,04		(4)	2,10	(1)
Eidotter	2	1,99 ± 0,28		(9)	1,96	(1)
Eidotter	3	1,88 ± 0,13		(6)	1,69	(1)
Eiklar	1	1,27 ± 0,10		(10)	1,40	(1)
Eiklar	2	1,42 ± 0,25		(8)	1,59	(1)
Eiklar	3	1,54 ± 0,09		(6)	1,62	(1)

¹⁾ SCHÄFER und BEHNE (1984)

Nachdem diese Vergleichsuntersuchung zeigte, daß beide Methoden gut übereinstimmende Analysenergebnisse gewährleiten, wurde das Naßaufschlußverfahren auch zur Se-Bestimmung in Eiern der Versuchsgruppen A - D eingesetzt. Die Se-Gehalte der Eifractionen, gemittelt aus den Mittelwerten von je 2 mehrfach (n = 6) bestimmten Fractionen, wurde in der gefriergetrockneten Substanz bestimmt und auf die Frischsubstanz umgerechnet. Aus den Einzelwerten für Eidotter und Eiklar ist der Se-Gehalt des Gesamtinhaltes der untersuchten Eier berechnet worden (Tabelle 5).

Tabelle 5: Se-Gehalte in Eiern der Versuchsgruppen A - D
(mg Se/kg Frischsubstanz)

Gruppe	Se-Gehalt in der Ration (mg Se/kg Alleinfutter)	Eidotter	Eiklar	Gesamtei (ohne Schale)
A	0,2	0,33	0,12	0,19
B	0,4	0,55	0,12	0,24
C	0,6	0,61	0,14	0,30
D	0,8	0,75	0,17	0,35

5.3 Zootechnische Leistungen der Versuchstiere

Die Leistungen der Junghennen wurden für die Zeit nach der Se-Zulage ab der 17. LW ausgewertet. Die zwischen der 17. und 20. LW erbrachten Leistungen sind in der Tabelle 6 dargestellt. Zwischen den Gruppen ergaben sich keine Differenzen.

Die Werte für die Lebendmasse, Lebendmassezunahme, Futterverzehr, Eizahl, Eimasse und Futteraufwand je kg Eimasse sind für die Zeit nach Legebeginn (21. LW) bis zum Versuchsende in der 41. LW in der Tabelle 7 und für Vierwochenperioden in den Tabellen 15 - 19 (Anhang) angegeben. Signifikante Unterschiede konnten bezüglich der Lebendmassezunahme nur für den Zeitraum von der 29. - 32. LW festgestellt werden (Tabelle 17). Wird die gesamte geprüfte Legeperiode betrachtet (21. - 41. LW), ergeben sich bei den Zulagegruppen nur tendenziell verbesserte Lebendmassezunahmen.

Tabelle 6
 Zootechnische Leistungen der Junghennen
 zwischen der 17. und 20. Lebenswoche

Gruppe		A	B	C	D
Tierzahl	n	62	62	62	62
14. - 16. LW					
Se in der Ration ab 17. LW Na_2SeO_3 -Zulage	mg/kg	0,2	0,2	0,2	0,2
Se in der Ration	mg/kg	0,2	0,4	0,6	0,8
Lebendmasse Anfang 17. LW	kg	1,186 $\pm$ 0,031 100,0	1,186 $\pm$ 0,035 100,0	1,186 $\pm$ 0,034 100,0	1,187 $\pm$ 0,040 100,1
Lebendmasse Ende 20. LW	kg	1,482 $\pm$ 0,039 100,0	1,457 $\pm$ 0,054 98,3	1,474 $\pm$ 0,078 99,5	1,450 $\pm$ 0,065 97,8
Tägliche Zunahme	g	11 $\pm$ 1	10 $\pm$ 1	10 $\pm$ 2	9 $\pm$ 2
Futtermittelverzehr je Tier	kg	2,390 $\pm$ 0,079 100,0	2,412 $\pm$ 0,105 100,9	2,438 $\pm$ 0,167 102,0	2,408 $\pm$ 0,145 100,8
Futtermittelverzehr je Tier und Tag	g	85 $\pm$ 3 100,0	86 $\pm$ 4 101,2	87 $\pm$ 6 102,4	86 $\pm$ 5 101,2

Tabelle 7
 Zootechnische Leistungen der Legehennen
 zwischen der 21. und 40. Lebenswoche

Gruppe		A	B	C	D
Tierzahl	n	49	49	50	50
14. - 16. LW					
Se in der Ration ab 17.LW Na_2SeO_3 -Zulage	mg/kg	0,2	0,2	0,2	0,2
Se in der Ration	mg/kg	0,2	0,4	0,6	0,8
Lebendmasse Anfang 21.LW	kg	1,484 $\pm$ 0,042	1,464 $\pm$ 0,058	1,461 $\pm$ 0,079	1,448 $\pm$ 0,068
Lebendmasse Ende 40.LW	kg	100,0	98,6	98,4	97,6
		1,760 $\pm$ 0,066	1,764 $\pm$ 0,051	1,754 $\pm$ 0,097	1,740 $\pm$ 0,071
		100,0	100,2	99,7	98,9
Lebendmasse-Zunahme	g	277 $\pm$ 48	300 $\pm$ 30	293 $\pm$ 52	292 $\pm$ 39
		100,0	108,3	105,8	105,4
Futtermittelverzehr je Tier	kg	16,952 $\pm$ 0,208	17,073 $\pm$ 0,394	16,908 $\pm$ 0,794	16,946 $\pm$ 0,647
		100,0	100,7	99,7	99,9
Futtermittelverzehr je Tier und Tag	g	121 $\pm$ 2	122 $\pm$ 3	121 $\pm$ 6	121 $\pm$ 5
		100,0	100,8	100,0	100,0
Eizahl	n	121,5 $\pm$ 5,2	122,5 $\pm$ 2,7	122,1 $\pm$ 4,5	119,5 $\pm$ 5,4
		100,0	100,8	100,5	98,3
Einzel-Eimasse	g	59,3 $\pm$ 1,3	59,6 $\pm$ 1,3	60,0 $\pm$ 1,0	59,9 $\pm$ 1,9
		100,0	100,5	101,2	101,0
Gesamt-Eimasse	kg	7,202 $\pm$ 0,274	7,301 $\pm$ 0,154	7,316 $\pm$ 0,300	7,158 $\pm$ 0,318
		100,0	101,4	101,6	99,4
Futtermittelaufwand je kg Eimasse	kg	2,356 $\pm$ 0,075	2,338 $\pm$ 0,051	2,315 $\pm$ 0,092	2,370 $\pm$ 0,089
		100,0	99,2	98,2	100,6

5.4 Die Aktivitäten der Glutathionperoxidase

5.4.1 Se-GSH-Px-Aktivitäten im Plasma

Die Se-GSH-Px-Aktivitäten im Plasma wurden auf ml Plasma (Tabelle 8) und mg Plasmaprotein (Tabelle 9; Abb. 4) bezogen. Die Bezugsgröße Plasmaprotein bietet den Vorteil, daß mögliche Schwankungen im Wassergehalt des Plasmas - etwa hervorgerufen durch Streß bei der Blutentnahme - unberücksichtigt bleiben können. Die Enzymaktivitäten im Plasma wurden in der 17., 19. und 21. LW bei nicht legenden Hennen, von der 22. bis zur 41. LW bei legenden Hennen untersucht.

In der 19. LW besteht zwischen den Gruppen A - D kein großer Unterschied. Unmittelbar vor Legebeginn (21. LW) steigen jedoch die Enzymaktivitäten bei den Se-supplementierten Gruppen B - D kurzfristig an, während die Se-GSH-Px-Aktivität im Plasma der Kontrollgruppe A leicht abfällt.

Nach Legebeginn ergeben sich zwischen der Kontrollgruppe A und den Zulagegruppen von der Höhe der Se-Zufuhr abhängige, unterschiedliche Se-GSH-Px-Aktivitäten, die in der 22. LW erkennbar wurden und ab der 28. LW statistisch abgesichert werden konnten (Tabellen 8, 9).

Die Differenz zwischen der Enzymaktivität der Kontrollgruppe A und den Se-GSH-Px-Aktivitäten der Gruppen B - D wird mit andauernder Legetätigkeit deutlicher und bleibt bis zum Versuchsende hin bestehen. Bei allen Gruppen nimmt die Se-GSH-Px-Aktivität im Plasma mit einsetzender Legetätigkeit ab. Dieser Abfall ist bei der Kontrollgruppe A stärker ausgeprägt als bei den Zulagegruppen. Bei den Se-supplementierten Gruppen bleiben die Se-GSH-Px-Aktivitäten nach der geringen Reduzierung zu Legebeginn bis zur 32. LW weitgehend gleich. Lediglich in der 41. LW wurden bei den Zulagegruppen verringerte Enzymaktivitäten festgestellt.

Die mit Selen supplementierten Versuchsgruppen zeigten zu keiner Zeit Unterschiede in den Se-GSH-Px-Aktivitäten.

Tabelle 8
Aktivitäten der Se-CSH-Px im Plasma
(U₃₇/ml Plasma)

Gruppe	A	B	C	D
Se-Gehalt in der Ration mg/kg TM	0,2	0,4	0,6	0,8
Anzahl der Tiere	12	12	12	12
17. Lebenswoche	2,31 ± 0,10	-	-	-
19. Lebenswoche	2,51 ± 0,11	2,37 ± 0,26	2,62 ± 0,51	2,11 ± 0,02
21. Lebenswoche	2,35 ± 0,10	2,91 ± 0,61	2,83 ± 0,19	3,03 ± 0,70
22. Lebenswoche	1,43 ± 0,10	2,05 ± 0,37	2,11 ± 0,34	1,96 ± 0,12
28. Lebenswoche	1,02 ^a ± 0,06	2,21 ^b ± 0,02	2,05 ^b ± 0,13	2,10 ^b ± 0,06
32. Lebenswoche	1,05 ^a ± 0,26	1,70 ^b ± 0,30	1,96 ^b ± 0,26	2,03 ^b ± 0,13
41. Lebenswoche	0,79 ^a ± 0,25	1,33 ^b ± 0,02	1,53 ^b ± 0,08	1,44 ^b ± 0,12

Differenzen zwischen Gruppenmittelwerten, die nicht einen oder mehrere hochgestellte Buchstaben gemeinsam haben, sind nach dem Tukey-Test mit mindestens $P < 0,05$ signifikant.

Tabelle 9

Spezifische Aktivitäten der Se-GSH-Px im Plasma
(U₃₇/mg Plasmaprotein)

Gruppe	A	B	C	D
Se-Gehalt in der Ration mg/kg TM	0,2	0,4	0,6	0,8
Anzahl der Tiere n	12	12	12	12
17. Lebenswoche	0,056 ± 0,002	-	-	-
19. Lebenswoche	0,056 ± 0,002	0,054 ± 0,007	0,063 ± 0,014	0,050 ± 0,001
21. Lebenswoche	0,051 ± 0,002	0,065 ± 0,016	0,063 ± 0,004	0,062 ± 0,016
22. Lebenswoche	0,032 ± 0,002	0,045 ± 0,007	0,043 ± 0,005	0,045 ± 0,006
28. Lebenswoche	0,020 ^a ± 0,003	0,045 ^b ± 0,002	0,044 ^b ± 0,001	0,047 ^b ± 0,003
32. Lebenswoche	0,023 ^a ± 0,006	0,040 ^{ab} ± 0,012	0,042 ^{ab} ± 0,007	0,045 ^b ± 0,003
41. Lebenswoche	0,019 ^a ± 0,006	0,029 ^b ± 0,002	0,031 ^b ± 0,001	0,029 ^b ± 0,002

Differenzen zwischen Gruppenmittelwerten, die nicht einen oder mehrere hochgestellte Buchstaben gemeinsam haben, sind nach dem Tukey-Test mit mindestens $P < 0,05$ signifikant.

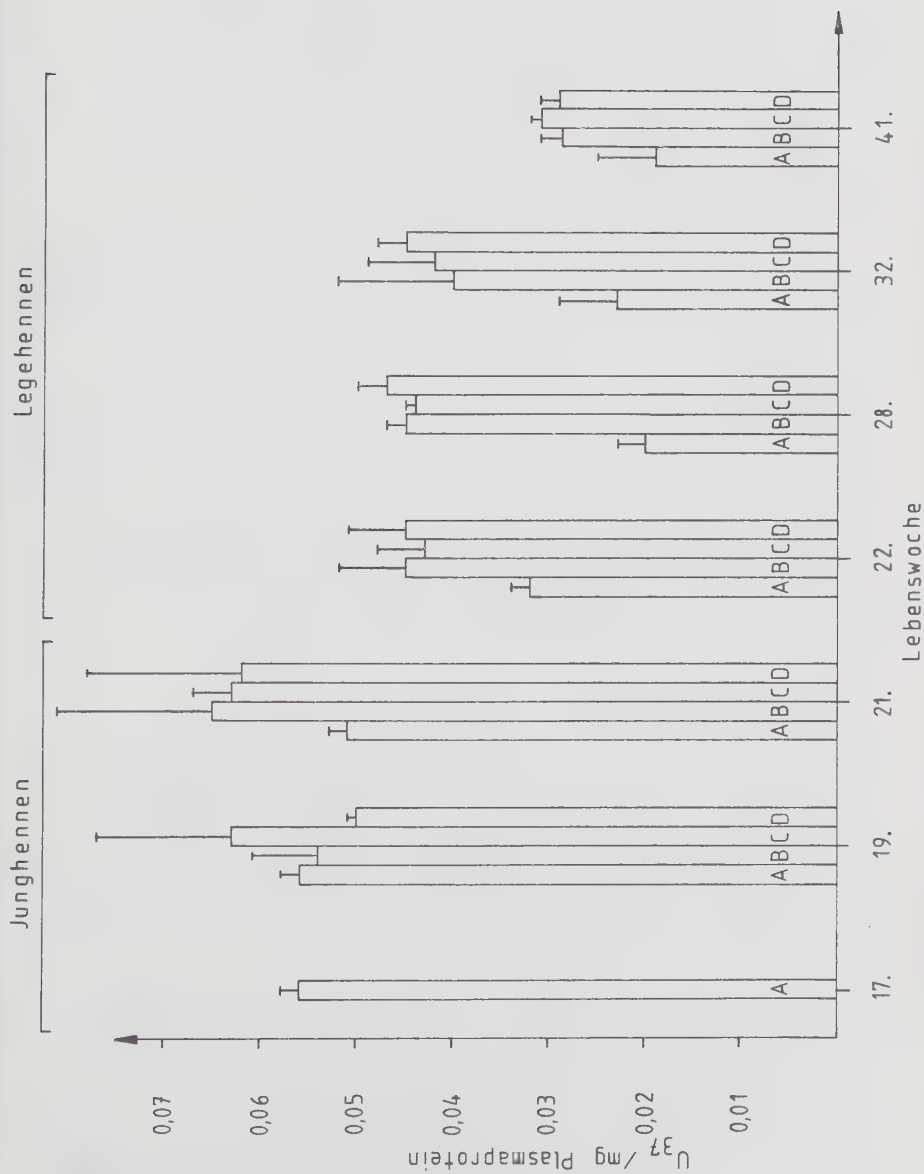


Abbildung 4: Spezifische Se-CSH-Px-Aktivitäten im Plasma von Legehennen in Abhängigkeit von der Se-Versorgung und dem Alter der Tiere

5.4.2 Se-GSH-Px-Aktivitäten in den Erythrocyten

Die Aktivitäten der Se-GSH-Px in den Erythrocyten wurden in der 28. LW bestimmt (Tabelle 10). Die Enzymaktivität wurde auf g Hämoglobin (Hb) bezogen. Die Se-GSH-Px-Aktivitäten (y) sind mit $P < 0,001$ linear mit dem Se-Gehalt (x) in der Ration korreliert ($y = 124,4 x + 25,5$; $r^2 = 0,87$).

Tabelle 10: Spezifische Se-GSH-Px-Aktivitäten in den Erythrocyten (28. LW)

Gruppe	A	B	C	D
Anzahl der Tiere	12	12	12	12
Se-Gehalt in der Ration (mg/kg)	0,2	0,4	0,6	0,8
U ₃₇ /g Hb	51,0 ^a ± 5,5	73,9 ^{ab} ± 17,4	101,1 ^{bc} ± 15,6	124,9 ^c ± 10,7

Differenzen zwischen Gruppenmittelwerten, die nicht einen oder mehrere hochgestellte Buchstaben gemeinsam haben, sind nach dem Tukey-Test mit mindestens $P < 0,05$ signifikant.

5.4.3 Se-GSH-Px- und Gesamt-GSH-Px-Aktivitäten in der Leber

Die Bestimmung der Enzymaktivitäten in der Leber wurde zu den oben angegebenen Zeiten durchgeführt. Die Aktivitäten wurden, ähnlich wie beim Plasma, auf g Leberhomogenat (Tabelle 11) und mg Leberprotein (Tabelle 12) bezogen. Auf Grund der hohen Standardabweichungen konnten die Unterschiede zwischen den Gruppen statistisch nicht abgesichert werden.

Deutliche Unterschiede ergeben sich jedoch im Anteil der Se-GSH-Px-Aktivität an der Gesamtaktivität (Tabelle 13, Abb. 5). Der prozentuale Anteil der Se-GSH-Px-Aktivität an der Gesamt-GSH-Px-Aktivität fällt bei der Kontrollgruppe A von 39 % in der 17. LW auf 27 % in der 41. LW ab. Bei den Zulagegruppen hat er sich dagegen erhöht, ohne daß zwischen 0,4 und 0,8 mg Se/kg Alleinfutter wesentliche Unterschiede festzustellen waren. Eine Ausnahme bildet der Wert für die Gruppe C in der 32. LW.

Tabelle 11
 Aktivitäten der Gesamt-GSH-Px und der Se-GSH-Px in der Leber
 (U_{37} /g Leberhomogenat)

Gruppe		A	B	C	D
Se-Gehalt in der Ration mg/kg TM		0,2	0,4	0,6	0,8
Anzahl der Tiere	n	12	12	12	12
17. Lebenswoche	Gesamt-GSH-Px	$2,94 \pm 0,39$	-	-	-
	Se-GSH-Px	$1,18 \pm 0,23$	-	-	-
19. Lebenswoche	Gesamt-GSH-Px	$2,56 \pm 0,43$	$2,78 \pm 0,40$	$2,65 \pm 0,20$	$2,55 \pm 0,33$
	Se-GSH-Px	$1,09 \pm 0,16$	$1,45 \pm 0,37$	$1,26 \pm 0,10$	$1,04 \pm 0,66$
32. Lebenswoche	Gesamt-GSH-Px	$1,79 \pm 0,61$	$1,76 \pm 0,61$	$1,82 \pm 0,38$	$1,91 \pm 0,29$
	Se-GSH-Px	$0,56 \pm 0,24$	$1,14 \pm 0,10$	$0,46 \pm 0,04$	$1,04 \pm 0,66$
41. Lebenswoche	Gesamt-GSH-Px	$1,16 \pm 0,29$	$0,94 \pm 0,50$	$1,09 \pm 0,10$	$1,09 \pm 0,03$
	Se-GSH-Px	$0,30 \pm 0,11$	$0,64 \pm 0,06$	$0,45 \pm 0,09$	$0,59 \pm 0,30$

Tabelle 12

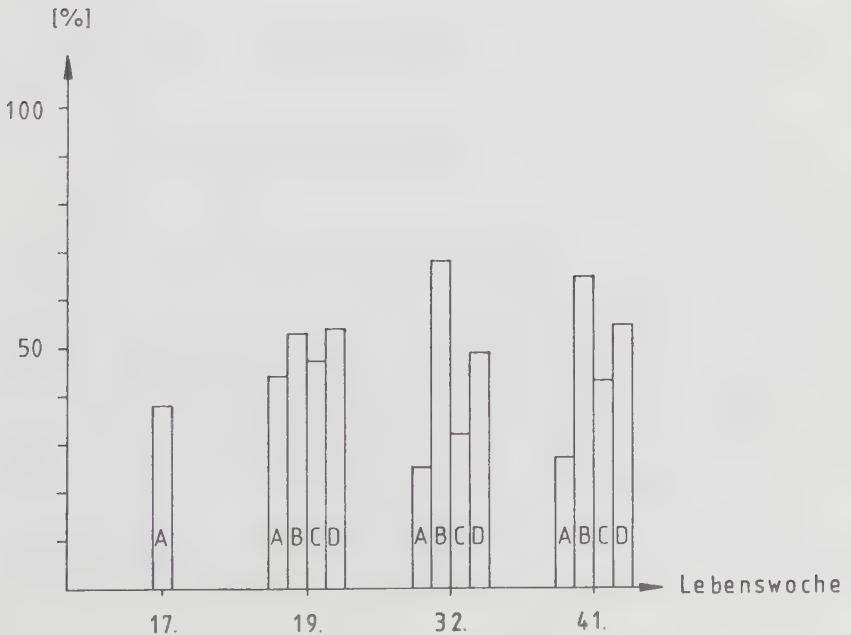
Spezifische Aktivitäten der Gesamt-GSH-Px und der Se-GSH-Px in der Leber
(U₃₇/mg Leberprotein)

Gruppe		A	B	C	D
Se-Gehalt in der Ration mg/kg TM		0,2	0,4	0,6	0,8
Anzahl der Tiere	n	12	12	12	12
17. Lebenswoche	Gesamt-GSH-Px Se-GSH-Px	1,14 ± 0,21 0,45 ± 0,08	- -	- -	- -
19. Lebenswoche	Gesamt-GSH-Px Se-GSH-Px	1,08 ± 0,33 0,48 ± 0,11	1,27 ± 0,31 0,67 ± 0,22	1,10 ± 0,09 0,52 ± 0,06	1,12 ± 0,19 0,61 ± 0,18
32. Lebenswoche	Gesamt-GSH-Px Se-GSH-Px	1,15 ± 0,46 0,29 ± 0,13	0,62 ± 0,15 0,42 ± 0,05	0,75 ± 0,21 0,24 ± 0,10	0,71 ± 0,12 0,35 ± 0,20
41. Lebenswoche	Gesamt-GSH-Px Se-GSH-Px	0,60 ± 0,27 0,16 ± 0,08	0,52 ± 0,31 0,34 ± 0,03	0,47 ± 0,04 0,20 ± 0,07	0,47 ± 0,08 0,26 ± 0,17

Tabelle 13: Prozentualer Anteil der spezifischen Se-GSH-Px-Aktivität an der spezifischen Gesamt-GSH-Px-Aktivität in der Leber (U_{37} /mg Leberprotein)

Gruppe	A	B	C	D
Anzahl der Tiere	12	12	12	12
Se-Gehalt in der Ration (mg/kg lufttrockener Substanz)	0,2	0,4	0,6	0,8
17. Lebenswoche	39	—	—	—
19. Lebenswoche	44	53	47	54
32. Lebenswoche	25	68	32	49
41. Lebenswoche	27	65	43	55

Abbildung 5: Prozentualer Anteil der spezifischen Se-GSH-Px-Aktivität an der spezifischen Gesamt-GSH-Px-Aktivität (U_{37} /mg Leberprotein) in der Leber



6.0 DISKUSSION

6.1 Zur Selenanalytik und zu Selenanalysen in Futtermitteln und Eiern

Die Entwicklung des Naßaufschlußverfahrens für die Se-Analytik in biologischen Materialien hatte zum Ziele, neben der Methode der Sauerstoffverbrennung über ein weiteres geeignetes Aufschlußverfahren zu verfügen. Bei Einhaltung der genannten Aufschlußparameter, u.a. einer Aufschlußtemperatur von 160 °C, wurde eine vollständige Zersetzung der untersuchten Futtermittel und Eiprobe erreicht, ohne daß Se-Verluste auftraten. Durch die Begrenzung des aliquoten Anteils auf 10 mg Futtermittel- bzw. 5 mg gefriergetrocknete Eiprobeneinwaage beim Meßverfahren mit der Hydrid-AAS konnten Matrixeffekte, welche die Höhe des Se-Signals beeinflussen, mit Hilfe der Standardadditionsmethode ausgeglichen werden. Dies zeigte ein Vergleich der mit verschiedenen Methoden ermittelten Analyseergebnisse. Die mit dem Naßaufschlußverfahren bestimmten Analyseergebnisse stehen somit in guter Übereinstimmung mit Vergleichswerten, welche mit der Sauerstoffverbrennung oder der NAA bestimmt wurden.

Der Vorteil des beschriebenen naßchemischen Verfahrens besteht in der leichten Handhabung beim Probenaufschluß, dem größeren Probendurchsatz im Routinebetrieb und dem geringeren Geräteaufwand. Auf die Anschaffung einer teuren Sauerstoffverbrennungsapparatur kann verzichtet werden. Daneben bietet der Naßaufschluß prinzipiell auch die Möglichkeit, Flüssigkeiten zu untersuchen.

Der Nachteil des Naßaufschlußverfahrens gegenüber der Sauerstoffverbrennung besteht darin, daß zum einen mehr Analysen durchgeführt werden müssen, um die gleiche Genauigkeit wie bei der Sauerstoffverbrennung zu erreichen und zum anderen zum Ausgleich der Signalunterdrückung die Standardadditionsmethode angewendet werden muß. Ein weiterer Nachteil ist die gegenüber der Sauerstoffverbrennung geringere Nachweisempfindlichkeit. Dieser Nachteil kommt jedoch nur bei Proben mit sehr geringen Se-Gehalten zum Tragen.

Mit dem Naßaufschlußverfahren können in Verbindung mit der Hydrid-AAS unter den genannten Bedingungen zuverlässige Se-Bestimmungen in Futtermitteln und Eiern durchgeführt werden. Da noch Futtermittel untersucht werden können, die mindestens 0,1 mg Se/kg lufttrockener Substanz enthalten, bzw. Eiprüben mit einem Se-Gehalt von mindestens 0,2 mg Se/kg Trockensubstanz, ist die Empfindlichkeit für die meisten Untersuchungen ausreichend.

In der Tabelle 3 sind die Se-Gehalte von Futtermitteln aufgeführt, die zum einen mit dem naßchemischen Verfahren und zum anderen mit einer Sauerstoffverbrennungsapparatur (WOLLGIEN, 1983) aufgeschlossen worden waren. Die analysierten Se-Gehalte stimmen gut überein. Größere Abweichungen ergeben sich nur für die beiden Reiskleien, deren Gehalte für dieses Verfahren an der unteren Nachweisgrenze liegen.

Aus der Tabelle 5 geht hervor, daß der Se-Gehalt im Eidotter bei Supplementierung der Ration mit Na_2SeO_3 stärker ansteigt als der Se-Gehalt im Eiklar. Dies steht in Übereinstimmung mit Untersuchungen von LATSHAW (1975), LATSHAW und BIGGERT (1981), MOKSNES und NORHEIM (1982) und MOKSNES (1983). Wurde der Se-Gehalt der Ration von 0,2 auf 0,8 mg Se/kg erhöht, stieg der Se-Gehalt im Ei nicht einmal um das Doppelte.

6.2 Zu den zootechnischen Leistungen der Legehennen

Die verfütterten Rationen enthielten 0,2 - 0,8 mg Se/kg Legehennen-Alleinfutter. Bei diesen Konzentrationen waren keine wesentlichen Auswirkungen auf Lebendmasse, Lebendmassezunahme, Futterverzehr, Eizahl, Eimasse und Futteraufwand je kg Eimasse zu erwarten. Dies geht auch aus Untersuchungen hervor, bei denen Rationen mit Se-Gehalten verfüttert wurden, die denen der Gruppen A - D entsprachen (ARNOLD et al., 1974; LATSHAW, 1975; LATSHAW et al., 1978; ORT und LATSHAW, 1978; COMBS und SCOTT, 1979; MOKSNES und NORHEIM, 1982).

Die erbrachten zootechnischen Leistungen liegen im Bereich der züchterischen Erwartungen. Behandlungsbedingte Unterschiede zwischen den Gruppen ergaben sich für die Lebendmassezunahme im Zeitraum zwischen

der 29. und 32. LW. Die Lebendmassezunahme der Legehennen der Gruppe B war signifikant höher als die von Tieren der Gruppen A, C und D (Tabelle 17). Betrachtet man die Lebendmassezunahmen zwischen der 21. LW und dem Ende der 40. LW, so zeigten die Zulagegruppen B - D tendenziell höhere Lebendmassezunahmen als die nicht Se-supplementierte Kontrollgruppe A.

6.3 Zu den Aktivitäten der Glutathionperoxidase bei unterschiedlicher Selenversorgung

6.3.1 Die Aktivitäten der Se-GSH-Px im Plasma

Bei noch nicht geschlechtsreifen Junghennen war, gemessen an den Se-GSH-Px-Aktivitäten im Plasma, mit 0,2 mg Se/kg Alleinfutter eine optimale Se-Versorgung sichergestellt. Höhere Se-Zulagen haben in der 19. LW keinen verbessernden Einfluß auf die Enzymaktivität ergeben (Tabellen 8, 9; Abb. 4). Dieser Befund steht in Übereinstimmung mit SCHÄFER et al. (1984).

Kurz vor Legebeginn in der 21. LW zeigte sich die Se-GSH-Px-Aktivität in der unbehandelten Kontrollgruppe tendenziell leicht vermindert, in den Zulagegruppen dagegen leicht erhöht.

Mit Eintritt in die Legephase verminderte sich die Se-GSH-Px-Aktivität bei der unbehandelten Kontrolle mit 0,2 mg Se/kg Alleinfutter weiter deutlich. Ab der 22. LW war die Reduktion gegenüber der 17. bis 21. LW bis zum Versuchsende in der 41. LW signifikant (Tabelle 14).

Anders verhielten sich die Se-GSH-Px-Aktivitäten bei den Zulagegruppen (Tabelle 14). Nach Legebeginn waren die Se-GSH-Px-Aktivitäten gegenüber der Kontrollgruppe A in der 22. LW tendenziell, ab der 28. LW bis zum Versuchsende signifikant erhöht (Tabellen 8, 9). Ihr Niveau war dabei gegenüber Junghennen erniedrigt, wie es auch von SCHÄFER et al. (1982) beobachtet worden ist. Unterschiede zwischen den Zulagegruppen ergaben sich dabei aber nicht. Dies gilt auch für die in der 41. LW gemessenen Aktivitäten, die insgesamt niedriger lagen als in der vorangegangenen Legeperiode. Da bisher noch keine derartige Verlaufsstudie durchgeführt wurde, kann diese Beobachtung nicht vergleichend diskutiert werden.

Gemessen an dem Merkmal Se-GSH-Px-Aktivität im Plasma liegt mit 0,4 mg Se/kg Alleinfutter eine ausreichende Se-Versorgung vor.

Tabelle 14: Spezifische Aktivitäten der Se-GSH-Px im Plasma (U_{37}/mg Plasmaprotein)¹⁾

Gruppe	A	B	C	D
Se-Gehalt in der Ration (mg/kg)	0,2	0,4	0,6	0,8
Anzahl der Tiere n	12	12	12	12
<u>nicht legende Tiere</u>				
17. Lebenswoche ²⁾	0,056 ^a	0,056 ^{ab}	0,056 ^{ab}	0,056 ^a
19. Lebenswoche	0,056 ^a	0,054 ^{ab}	0,063 ^a	0,050 ^a
21. Lebenswoche	0,051 ^a	0,065 ^a	0,063 ^a	0,062 ^a
<u>legende Tiere</u>				
22. Lebenswoche	0,032 ^b	0,045 ^{ab}	0,043 ^{bc}	0,045 ^{ab}
28. Lebenswoche	0,020 ^c	0,045 ^{ab}	0,044 ^{bc}	0,047 ^{ab}
32. Lebenswoche	0,023 ^{bc}	0,040 ^{ab}	0,042 ^{bc}	0,045 ^{ab}
41. Lebenswoche	0,019 ^c	0,029 ^b	0,031 ^c	0,029 ^b

Differenzen zwischen den Mittelwerten innerhalb einer Gruppe, die nicht einen oder mehrere hochgestellte Buchstaben gemeinsam haben, sind nach dem Tukey-Test mit mindestens $P < 0,05$ signifikant.

1) Auf die Wiedergabe der Standardabweichungen wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet. Die entsprechenden Angaben sind in Tabelle 9 enthalten.

2) Mittlerer Wert von 3 Tieren aus sämtlichen Gruppen ohne Se-Supplementation.

6.3.2 Die Aktivitäten der Se-GSH-Px in den Erythrocyten

Wie aus der Tabelle 10 und der Abb. 6 hervorgeht, besteht zwischen der Höhe der Se-Zufuhr (x) und den Se-GSH-Px-Aktivitäten in den Erythrocyten (y) eine lineare Beziehung ($y = 124,4 x + 25,5$; $r^2 = 0,87$; $P < 0,001$). Dies steht in Übereinstimmung mit Untersuchungen von OMAYE und TAPPEL (1974), SCHÄFER et al. (1982) und WOLLGIEN (1983). Deshalb ist eine Abschätzung der Se-Versorgung im Gegensatz zum Verhalten der Se-GSH-Px-Aktivitäten im Plasma mit Hilfe dieses Parameters nicht möglich.

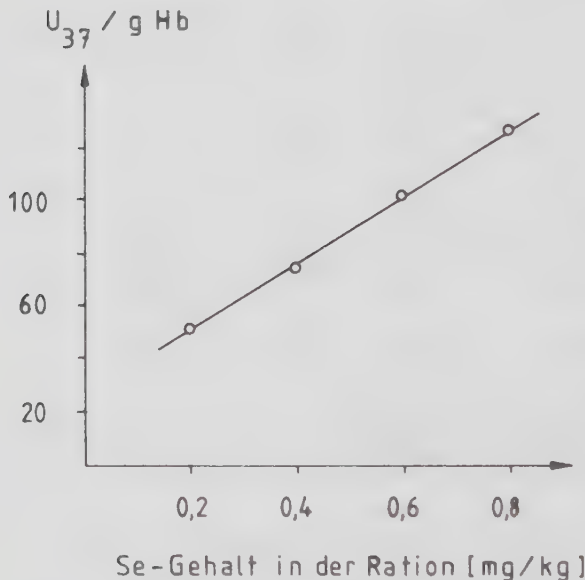


Abbildung 6: Spezifische Se-GSH-Px-Aktivitäten in den Erythrocyten von Legehennen bei unterschiedlicher Se-Versorgung (28. LW)

6.3.3 Die Se-GSH-Px- und die Gesamt-GSH-Px-Aktivitäten in der Leber

Sowohl die Gesamt-GSH-Px- als auch die Se-GSH-Px-Aktivitäten in der Leber haben sich bei den Versuchstieren von der 19. LW ab fortlaufend reduziert (Tabellen 11, 12). Signifikante Unterschiede zwischen der Kontrolle und den Zulagegruppen ergaben sich dabei nicht. Es war jedoch festzustellen, daß die Höhe des prozentualen Anteils der Se-GSH-Px-Aktivität an der Gesamt-GSH-Px-Aktivität durch die Se-Zulagen in der 32. und 41. LW deutlich positiv beeinflusst werden konnte, wobei durch höhere Zulagen als 0,4 mg Se/kg Alleinfutter keine weitere Verbesserung zu erzielen war. In der Leber der Tiere, die 0,2 mg Se/kg zugefüttert erhielten, lag der prozentuale Anteil im Mittel bei 26 %. Nach Verfütterung von 0,4 mg Se/kg Alleinfutter betrug dieser Anteil im Mittel 67 % (Tabelle 13). Nach Beobachtungen bei Junghennen entspricht ein 26 %iger Anteil einer Se-Unterversorgung (SCHÄFER et al., 1984), ein Anteil von etwa 60 % einer bedarfsgerechten Se-Versorgung. Warum diese Werte bei Verfütterung höherer Se-Dosen etwas niedriger lagen, konnte im Zusammenhang mit dieser Arbeit nicht geklärt werden.

6.4 Zur Frage der optimalen Selenversorgung der Legehennen

Die Aktivität der Se-GSH-Px im Plasma ist als empfindlicher biochemischer Parameter geeignet, die Se-Versorgung der Legehenne zu charakterisieren. Dabei zeichnet sich die Se-GSH-Px-Aktivität im Plasma bei ausreichender Se-Versorgung durch eine Plateaubildung aus (COMBS und SCOTT, 1979; SCHÄFER et al., 1982). - In der Leber hingegen ist der Anteil der Se-GSH-Px-Aktivität an der Gesamt-GSH-Px-Aktivität aussagekräftiger (SCHÄFER et al., 1982; WOLLGIEN, 1983). Ungeeignet ist die Se-GSH-Px-Aktivität in den Erythrocyten, da hier - wie auch in dieser Arbeit bestätigt werden konnte - eine lineare Beziehung zwischen der Se-Zufuhr und der Se-GSH-Px-Aktivität besteht (u.a. SCHÄFER et al., 1982; WOLLGIEN, 1983).

Aus dem Verhalten der Se-GSH-Px-Aktivität im Plasma und dem prozentualen Anteil der Se-GSH-Px-Aktivität an der Gesamt-GSH-Px-Aktivität in der

Leber ergibt sich in Übereinstimmung mit SCHÄFER et al. (1982), daß 0,2 mg Se pflanzlicher Provenienz/kg Alleinfutter den Se-Bedarf legender Hennen nicht ausreichend decken.

Mit 0,4 mg Se/kg Alleinfutter, das je zur Hälfte aus Selen pflanzlicher Herkunft und Selen aus Na_2SeO_3 stammt, wird nach denselben Merkmalen bereits eine optimale Se-Versorgung erreicht. Höhere Zulagen brachten keine Verbesserungen. Dieser Befund stimmt mit COMBS und SCOTT (1979) überein, die eine Mais-Soja-Ration mit 0,45 mg Se/kg durch Na_2SeO_3 -Zusätze ergänzten, ohne dadurch die Se-GSH-Px-Aktivität noch steigern zu können. Andererseits haben SCHÄFER et al. (1982) gezeigt, daß Zusätze von 0,3 mg Se als Na_2SeO_3 /kg zu einer Se-armen Diät noch zu keinen maximalen Enzymaktivitäten führten.

Die Versorgung der Legehennen mit 0,4 mg Se/kg Alleinfutter ist weit entfernt von der Se-Dosis, die, gemessen an dem empfindlichsten Indikator, ab 5 mg Se/kg die Schlupffähigkeit von Küken negativ beeinflußt.

Gegenüber der Ration mit 0,2 mg Se/kg erhöhte sich der Se-Gehalt in den Eiern bei Verfütterung der Ration mit 0,4 mg Se/kg von 0,19 mg auf 0,24 mg Se/kg Eiinhalt.

Im nicht erklärbaren Gegensatz dazu steht ein weiterer Versuch von COMBS und SCOTT (1979) mit einer Mais-Soja-Ration (0,04 mg Se/kg), wonach Zusätze von 0,1 bis 0,2 mg Selen als Na_2SeO_3 /kg bereits maximale Enzymaktivitäten zur Folge hatten. Derartige Differenzen sind auch nicht durch die von GABRIELSEN und OPSTVEDT (1980 a,b) erstmals festgestellten, unterschiedlichen Verfügbarkeiten des Selens aus verschiedenen Futtermitteln zu interpretieren. - Bisher lautete die für die USA verbindliche Empfehlung zur ausreichenden Se-Versorgung von Legehennen auf 0,1 mg Se/kg Alleinfutter (NRC, 1977). Nach SCHEID (1984) ist die National Academy of Sciences inzwischen jedoch zur Auffassung gelangt, daß der Se-Bedarf von Tieren allgemein höher eingeschätzt werden muß.

7.0 ZUSAMMENFASSUNG

308 LSL-Hybridjunghen - eingeteilt in 4 Gruppen zu je 77 Hennen - wurden in Einzelkäfigen aufgestellt und erhielten ab der 14. Lebenswoche (LW) eine Ration mit 0,2 mg Selen(Se)/kg lufttrockenem Alleinfutter. Mit Beginn der 17. LW wurden die Rationen mit Na_2SeO_3 supplementiert. Die Kontrollgruppe A erhielt jedoch weiterhin die Basisration mit 0,2 mg Se/kg verfüttert. Der Se-Gehalt betrug insgesamt für die Gruppe B 0,4 mg Se/kg, für die Gruppe C 0,6 mg Se/kg und für die Gruppe D 0,8 mg Se/kg Alleinfutter. Diese Gehalte wurden auch nach der Umstellung auf das Legehennen-Alleinfutter am Ende der 21. LW bis zum Versuchsende in der 41. LW beibehalten.

Die Aktivitäten der selenabhängigen Glutathionperoxidase (Se-GSH-Px) sind im Plasma in der 17., 19., 21., 22., 28., 32. und 41. LW, in den Erythrocyten in der 28. LW und in der Leber in der 17., 19., 32. und 41. LW bestimmt worden. In der Leber erfolgte zu den genannten Zeiten zusätzlich die Bestimmung der Gesamtaktivität der Glutathionperoxidase (Gesamt-GSH-Px). Die Auswirkungen der Se-Supplementation auf den Se-Gehalt des Hühnereies wurde orientierend in der 34. LW festgestellt.

Zur Se-Bestimmung in Proben organischer Herkunft wurde ein Naßaufschlußverfahren modifiziert. Es ist geeignet, Futtermittel und gefriergetrocknete Eiprobe n zu mineralisieren. Aus der Aufschlußlösung kann Selen direkt mit der Hydridtechnik bestimmt werden. Das Verfahren wurde durch Methodenvergleich (Sauerstoffverbrennung, Neutronenaktivierungsanalyse) und durch einen NBS-Reismehlstandard überprüft. Es gestattet Futtermittel zu untersuchen, deren Se-Gehalte 0,1 mg Se/kg lufttrockener Substanz, bzw. Eier zu analysieren, deren Se-Gehalte 0,2 mg/kg gefriergetrockneter Substanz nicht unterschreiten.

Im Tierversuch sind folgende Ergebnisse erzielt worden:

1. Die zootechnischen Leistungen wurden durch Se-Zulagen nicht beeinflusst. Bezogen auf die Legeperiode hatten die Tiere der Se-supplementierten Gruppen jedoch tendenziell höhere Lebendmassezunahmen.
2. Von den bestimmten Merkmalen erwies sich die Se-GSH-Px-Aktivität in den Erythrocyten für die Beurteilung der Se-Versorgung als ungeeignet. Die Se-GSH-Px-Aktivität (y) stieg linear mit der Höhe der Se-Zufuhr (x) an ($y = 124,4 x + 25,5$; $r^2 = 0,87$; $P < 0,001$).
3. Bei der Kontrollgruppe A mit 0,2 mg Se pflanzlicher Provenienz/kg Alleinfutter fiel mit Eintritt in die Legereife und während der Legetätigkeit die Se-GSH-Px-Aktivität im Plasma laufend ab. Ebenso sank der prozentuale Anteil der Se-GSH-Px-Aktivität an der Gesamt-GSH-Px-Aktivität im Mittel auf 26 %.
4. Bei 0,4 mg Se/kg Alleinfutter erhöhten sich die Se-GSH-Px-Aktivitäten im Plasma kurz vor Eintritt in die Legereife und in der Legeperiode gegenüber der Kontrolle signifikant. Der prozentuale Anteil der Se-GSH-Px-Aktivität an der Gesamt-GSH-Px-Aktivität in der Leber stieg im Mittel auf 67 %.
5. Die Verfütterung von 0,6 und 0,8 mg Se/kg Alleinfutter brachte in den gemessenen Merkmalen gegenüber 0,4 mg Se/kg keine Verbesserung.
6. Aus diesen Ergebnissen wird geschlossen, daß die legende Henne bei 0,4 mg Se/kg Alleinfutter mit Selen optimal versorgt wird.
7. Die Verfütterung von 0,2 mg Se/kg Alleinfutter führte nach orientierenden Analysen zu einem Se-Gehalt im Eiinhalt von 0,19 mg/kg Frischsubstanz. Bei 0,4 mg Se/kg Alleinfutter wurden 0,24 mg Se/kg Frischsubstanz bestimmt.

7.1 Summary

308 LSL hybrid hens - assigned to four groups of 77 hens - were housed in single cages and received a diet containing 0,2 mg Selenium (Se)/kg air dry matter starting at the age of fourteen weeks. At the age of 17 weeks the diets were supplemented with Na_2SeO_3 . The control group A furtheron received the basal diet with 0,2 mg Se/kg. Thus the Se-content in the diet for the group B was 0,4 mg/kg, for the group C 0,6 mg/kg and for the group D 0,8 mg/kg. The selenium levels remained unchanged when the layer diet was given starting at the end of week 21 until the end of the trial at week 41.

Selenium-dependent glutathione peroxidase (Se-GSH-Px) activity was determined in plasma at week 17, 19, 21, 22, 28, 32 and 41, in red blood cells at week 28 and in the liver at week 17, 19, 32 and 41. In the liver the total activity of the glutathione peroxidase was determined as well at the times mentioned above. The changes of the Se-contents of eggs following supplementation with Se was evaluated at week 34.

For the determination of Se in samples of organic origin a wet digestion procedure was modified. It is suitable to mineralize feedstuffs and lyophilysed egg samples. It is possible to determine Se by hydride generation with the digestion solution. The procedure was validated by comparison with other methods (combustion in oxygen stream, neutron activating analysis) and by analysis of a NBS rice meal standard. It is possible to analyse feedstuffs with Se-contents not less than 0,1 mg Se/kg air dry matter and egg samples with a Se-content not less than 0,2 mg/kg lyophilysed matter.

The trial with the hens had the following results:

1. The hen performance - except the live weight gains - were not influenced by Se-supplementation of the diet. Regarding the laying period the hens of the supplemented groups had slightly higher live weight gains.
2. According to the criteria evaluated the Se-GSH-Px activity in the red blood cells proved to be unsuitable to estimate the Se-status. The activity of the Se-GSH-Px (y) increased linearly with the Se-content of the diet (x)
($y = 124,4 x + 25,5$; $r^2 = 0.87$; $P < 0,001$).
3. The plasma Se-GSH-Px activity for the control group A receiving a diet with 0,2 mg Se/kg of plant material decreased shortly before and during the laying period. Also the amount of the Se-GSH-Px activity of the total activity of the glutathione peroxidase in the liver declined to 26 %.
4. The diet containing 0,4 mg Se/kg increased the plasma Se-GSH-Px activity shortly before and after the start of laying, showing a significant difference in the laying period compared with the control group. The amount of the Se-GSH-Px activity of the total activity of the glutathione peroxidase increased up to 67 %.
5. When diets with 0,6 and 0,8 mg Se/kg were fed, no improvement of the criteria was observed compared with the diet containing 0,4 mg Se/kg.
6. According to the results it is concluded that with a diet containing 0,4 mg Se/kg the Se-supply of the laying hen is optimal.
7. When feeding a diet with 0,2 mg Se/kg, the Se-content of the eggs is 0,19 mg/kg fresh weight. At a Se-level of 0,4 mg/kg in the diet the eggs contained 0,24 mg Se/kg fresh weight.

8.0 LITERATURVERZEICHNIS

ACUFF, R.V., und J.T. SMITH (1981):

Dietary inorganic sulfate status in the rat and its effect on selenium absorption.

Tennessee Farm and Home Science 119, 2-3

ARNOLD, R.L., O.E. OLSON und C.W. CARLSON (1972):

Selenium withdrawal and egg selenium content.

Poult.Sci. 51, 341-342

ARNOLD, R.L., O.E. OLSON und C.W. CARLSON (1973):

Dietary selenium and arsenic additions and their effects on tissue and egg selenium.

Poult.Sci. 52, 847-854

ARNOLD, R.L., O.E. OLSON und C.W. CARLSON (1974):

Tissue selenium content and serum tocopherols as influenced by dietary type, selenium and vitamin E.

Poult.Sci. 53, 2185-2192

ARTHUR, J.R. (1979):

Selenium deficiency in Frisian steers.

Proc.Nutr.Soc. 38, 13 A

AWASTHI, Y.C., E. BEUTLER und J. SRIVASTAVA (1975):

Purification and properties of human erythrocyte glutathione peroxidase.

J.Biol.Chem. 250, 5144-5149

BEHNE, D., W. ELGER, W. SCHMELZER und M. WITTE (1976):

Effects of sex hormones and of pregnancy on the selenium metabolism.

Bioinorg.Chem. 5, 199-202

Die im vorliegenden Literaturverzeichnis aufgeführten Titelabkürzungen erfolgten gemäß:

1. List of Journals indexed in Index Medicus 1981, National Library of Medicine, Washington;
2. Serial Source for the Biosis Data Base. Vol. 1979. Bio Sciences Information Service (BIOSIS), Philadelphia.

BEHNE, D., und W. WOLTERS (1979):

Selenium content and glutathione peroxidase activity in the plasma and erythrocyte of non-pregnant and pregnant women.
J.Clin.Chem.Clin.Biochem. 17, 133-135

BEHNE, D., T. HÖFER, R. von BERSWORDT-WALLRABE und W. ELGER (1982):

Selenium in the testis of the rat: studies on its regulation and its importance for the organism.
J.Nutr. 112, 1682-1687

BEUTER, W. (1982):

Radikalbildung durch Schwermetalle.
Der praktische Tierarzt 63, 792-800

BLAIR, R., N.J. DACHIR, H. MORIMOTO, V. PETER und T.G. TAYLOR (1983):

International nutrition standards for poultry.
Nutr.Abstr.Rev.Series B, 53, 669-713

BOSTEDT, H., und P. SCHRAMEL (1983):

Effekt unterschiedlicher Selensupplementierung auf die Selenkonzentration in Blut und Plazentagewebe bei Kühen.
Dtsch.tierärztl.Wschr. 90, 398-401

BRADY, P.S., und D.E. ULLREY (1978):

The influence of selenium and vitamin E on the erythrocyte glutathione peroxidase system of white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*).

In: Trace element metabolism in man and animals. - 3. KIRCHGESSNER (Hrsg.), Proc.3.International Symp., Freising, July 1977, 519-522

BUNK, M.J., und G.F. COMBS (1981):

Evidence for an impairment in the conversion of methionine to cysteine in the selenium-deficient chick.
Proc.Soc.Exp.Biol.Med. 167, 87-93

BURK, R.F., D.G. BROWN, R.J. SEELY und C.C. SCAIEF (1972):

Influence of dietary and injected selenium on whole-body retention, route of excretion, and tissue retention of $^{75}\text{SeO}_3^{2-}$ in the rat.
J.Nutr. 102, 1049-1056

BYARD, J.L. (1969):

Trimethyl selenide. A urinary metabolite of selenite.
Arch.Biochem.Biophys. 130, 556-560

CANTOR, A.H., und M.L. SCOTT (1974):

The effect of selenium in the hen's diet on egg production,
hatchability, performance of progeny and selenium concen-
tration in eggs.
Poult.Sci. 53, 1870-1880

CANTOR, A.H., M.L. SCOTT und T. NOGUCHI (1975 a):

Biological availability of selenium in feedstuffs and selenium
compounds for prevention of exudative diathesis in chicks.
J.Nutr. 105, 96-105

CANTOR, A.H., M.L. LANGEVIN, T. NOGUCHI und M.L. SCOTT (1975 b):

Efficiency of selenium in selenium compounds and feedstuffs for
prevention of pancreatic fibrosis in chicks.
J.Nutr. 105, 106-111

CARY, E.E., W.H. ALLAWAY und M. MILLER (1973):

Utilization of different forms of dietary selenium.
J.Anim.Sci. 36, 285-292

CHOW, C.K., K. REDDY und A.L. TAPPEL (1973):

Effect of vitamin E on the activities of the glutathione peroxidase
system in rat tissues.
J.Nutr. 103, 618-624

COKER, O.E., und A.T. DIPLOCK (1978):

The influence of dietary vitamin E and selenium on the
metabolism of selenium by rat liver.
In: Trace element metabolism in man and animals. - 3.
KIRCHGESSNER, M. (Hrsg.), Proc.3.International Symp.
Freising, July 1977

COMBS jr., G.F. (1976):

Differential effects of high dietary levels of vitamin A on the
vitamin E-selenium nutrition of young and adult chickens.
J.Nutr. 106, 967-975

- COMBS jr., G.F., und G.M. PESTI (1976):
Influence of ascorbic acid on selenium nutrition in the chick.
J.Nutr. 106, 958-966
- COMBS jr., G.F., und M.L. SCOTT (1979):
The selenium needs of laying and breeding hens.
Poult.Sci. 58, 871-884
- COMBS jr., G.F. (1981):
Metabolism and nutrition. Influences of dietary vit. E
and selenium on the oxidant defense system of the chick.
Poult.Sci. 60, 2098-2105
- DIETERT, R.R., J.A. MARSH und G.F. COMBS jr. (1983):
Influence of dietary selenium and vitamin E on the activity
of chicken blood phagocytes.
Poult.Sci. 62, 1412 (Abstr.)
- DOUGJERTY, J.J., und W.G. HOEKSTRA (1982):
Stimulation of lipid peroxidation in vivo by injected selenite
and lack of stimulation by selenate.
Proc.Soc.Exp.Biol.Med. 169, 209-215
- FELL, G.S., A. SHENKIN, A. MAIN und R. RUSSEL (1980):
Human selenium deficiency.
Proc.Nutr.Soc. 39, 36 A
- FIDLER, J.W., K. SCHUH, E.C. NABER und J.D. LATSHAW (1980):
Induction of glutathione peroxidase activity by selenium in
the chick.
Poult.Sci. 59, 135-140
- FLOHÉ, L., W.A. GÜNZLER und H.H. SCHOCK (1973):
Glutathione peroxidase: a seleno-enzyme.
FEBS Lett. 32, 132-134
- FLOHÉ, L. W.A. GÜNZLER und G. LOSCHEN (1979):
The glutathione peroxidase reaction: a key to understand
the selenium requirement of mammals.
In: Trace Metals in Health and Disease.
Hrsg.von N. KHARASH, Raven Press, N.Y., 263-286

FORSTROM, J.W., J.J. ZAKOWSKI und A.L. TAPPEL (1978):

Identification of the catalytic site of rat liver glutathione peroxidase as selenocysteine.

Biochemistry 17, 2639-2644

GABRIELSEN, B.O., und J. OPSTVEDT (1980 a):

A biological assay for determination of availability of selenium for restoring blood serum glutathione peroxidase activity in selenium-depleted chicks.

J.Nutr. 110, 1089-1095

GABRIELSEN, B.O., und J. OPSTVEDT (1980 b):

Availability of selenium in fish meal in comparison with soybean meal, corn gluten meal and selenomethionine relative to selenium in sodiumselenite for restoring glutathione peroxidase activity in selenium-depleted chicks.

J.Nutr. 110, 1096-1100

GANTHER, H.E., und C.A. BAUMANN (1962):

Selenium metabolism. II. Modifying effects of sulfate.

J.Nutr. 77, 408-414

GANTHER, H.E., O.A. LEVANDER und C.A. BAUMANN (1966):

Dietary control of selenium volatilization in the rat.

J.Nutr. 88, 55

GANTHER, H.E., und H.S. HSIEH (1974):

Mechanism for the conversion of selenite to selenides in mammalian tissues.

In: Trace element metabolism in animals. - 2.

HOEKSTRA, W.G. (Hrsg.), Univ. Park Press, Baltimore 339-352

GANTHER, H.E., D.G. HAFEMAN, R.A. LAWRENCE, R.E. SERFASS und W.G. HOEKSTRA (1976):

Selenium and glutathione peroxidase in health and disease.

In: Trace elements in human health and disease.

Hrsg.: PRASAD, A.S., Acad. Press, New York 165-234

GRIES, C.L., und M.L. SCOTT (1972):

Pathology of selenium-deficiency in the chick.

J.Nutr. 102, 1287-1296

- HAFEMAN, D.G., R.A. SUNDE und W.G. HOEKSTRA (1974):
Effect of dietary selenium on erythrocyte and liver glutathione peroxidase in the rat.
J.Nutr. 104, 580-587
- HAFEMAN, D.G., und W.G. HOEKSTRA (1977 a):
Protection against carbon tetrachloride-induced lipid peroxidation in the rat by dietary vitamin E, selenium, and methionine as measured by ethane evolution.
J.Nutr. 107, 656-665
- HAFEMAN, D.G., und W.G. HOEKSTRA (1977 b):
Lipid peroxidation in vivo during vitamin E and selenium deficiency in the rat as monitored by ethane evolution.
J.Nutr. 107, 666-672
- HAGHIGHI-RAD, F., und D. POLIN (1982):
Lipid: The unidentified factor for alleviating fatty liver syndrome.
Poult.Sci. 61, 2075-2082
- HILL, C.H. (1975):
Interrelationships of selenium with other trace elements.
Federation Proc. 34, 2096-2100
- HOEKSTRA, W.G., D.G. HAFEMAN, S.H. OH, R.A. SUNDE und H.E. GANTHER (1973):
Effect of dietary selenium on liver and erythrocyte glutathione peroxidase in the rat.
Federation Proc. 3746 (Abstr.)
- HÖGBERG, J., S. ORRENIUS und R.E. LARSON (1975):
Lipid peroxidation in isolated hepatocytes.
Eur.J.Biochem. 50, 595-602
- HOLMES, B., A.R. PAGE und R.A. GOOD (1967):
Studies on the metabolic activity of leukocytes from patients with a genetic abnormality of phagocytic function.
J.Clin.Invest. 46, 1422-1432

JENSEN, P.T., V. DANIELSEN und H.E. NIELSEN (1979):

Glutathione peroxidase activity and erythrocyte lipid peroxidation as indices of selenium and vitamin E status in young pigs.

Acta vet.scand. 20, 92-101

KLING, J.L., und J.H. SOARES jr. (1978):

Mercury metabolism in Japanese quail. II. The effects of dietary mercury and selenium on blood and liver glutathione peroxidase activity and selenium concentration.

Poult.Sci. 57, 1286-1292

LADENSTEIN, R., und A. WENDEL (1976):

Crystallographic data of the selenoenzyme glutathione peroxidase.

J.Mol.Biol. 104, 877-882

LADENSTEIN, R., O. EPP, A. RÖMISCH und A. WENDEL (1978):

Structural studies on the selenoenzyme glutathione peroxidase.

In: Trace element metabolism in man and animals. - 3. KIRCHGESSNER, M. (Hrsg.), Proc.3.International Symp., Freising, July 1977, 72-76

LADENSTEIN, R., O. EPP, K. BARTELS, A. JONES, R. HUBER und A. WENDEL (1979):

Structure analysis and molecular model of the selenoenzyme glutathione peroxidase at 2.8 Å resolution.

J.Mol.Biol. 134, 199-218

LANE, H.W., S.L. RAY und J.J. CERDA (1979):

Glutathione peroxidase activity in intestinal and liver tissues of rats fed various levels of selenium, sulfur and α -tocopherol.

J.Nutr. 109, 444-452

LATSHAW, J.D. (1975):

Natural and selenite selenium in the hen and egg.

J.Nutr. 105, 32-37

LATSHAW, J.D., und M. OSMAN (1974):

A selenium and vitamin E responsive condition in the laying hen.

Poult.Sci. 53, 1704-1708

LATSHAW, J.D., und M. OSMAN (1975):

Distribution of selenium in egg white and yolk after feeding natural and synthetic selenium compounds.

Poult.Sci. 54, 1244-1252

LATSHAW, J.D., und M.D. BIGGERT (1981):

Incorporation of selenium into egg proteins after feeding selenomethionine or sodium selenite.

Poult.Sci. 60, 1309-1313

LATSHAW, J.D., J.F. ORT und C.D. DIESEM (1977):

The selenium requirement of the hen and effects of a deficiency.

Poult.Sci. 56, 1876-1881

LAWRENCE, R.A., und R.F. BURK (1978):

Species, tissue and subcellular distribution of non Se-dependent glutathione peroxidase activity.

J.Nutr. 108, 211-215

MÄNNER, K. (1983):

Persönliche Mitteilung.

MAILER, R.J., und J.E. PRATLEY (1983):

Evaluation of selenium determination in biological material by atomic-absorption spectroscopy.

Analyst 108, 1060-1066

McCONNELL, K.P., und J.L. HOFFMAN (1972):

Methionine-selenomethionine parallels in rat liver polypeptide chain synthesis.

FEBS Lett. 24, 60-62

MEYER, A., C. HOFER, G. TÖLG, S. RAPTIS und G. KNAPP (1979):

Elementquerstörungen bei der analytischen Selen-Bestimmung nach dem Hydrid-AAS-Verfahren.

Fresenius Z.Anal.Chem. 296, 337-344

MEYER, W.R., D.C. MAHAN und A.L. MOXON (1981):

Value of dietary selenium and vitamin E for weanling swine as measured by performance and tissue selenium and glutathione peroxidase activities.

J.Anim.Sci. 52, 302-311

MILLER, D., J.H. SOARES jr., P. BAUERSFELD jr. und
S.L. CUPETT (1972):

Comparative selenium retention by chicks fed sodium selenite,
selenomethionine, fish meal and fish solubles.

Poult.Sci. 51, 1669-1673

MILLS, G.C. (1957):

Hemoglobin catabolism. I. Glutathione peroxidase, an
erythrocyte enzyme which protects hemoglobin from
oxidative breakdown.

J.Biol.Chem. 229, 189-197

MOKSNES, K., und G. NORHEIM (1982):

Selenium concentrations in tissues and eggs of growing and
laying chickens fed sodium selenite at different levels.

Acta vet.scand. 23, 368-379

MOKSNES, K. (1983):

Selenium deposition in tissues and eggs of laying hens
given surplus of selenium as selenomethionine.

Acta vet.scand. 24, 34-44

MOXON, A.L., und W.E. POLEY (1938):

The relation of selenium content of grains in the ration
to the selenium content of poultry carcass and eggs.

Poult.Sci. 17, 77-80

NAKAMURA, W., S. HOSODA und K. HAYASHI (1974):

Purification and properties of rat-liver glutathione peroxidase.

Biochim.Biophys.Acta 358, 251-261

NASH, D.M., A.H. CANTOR und T.H. JOHNSON (1983):

Toxicity of selenium in drinking water of chicks.

Poult.Sci. 62, 1474 (Abstr.)

NOGUCHI, T., M.L. LANGEVIN, G.F. COMBS jr. und
M.L. SCOTT (1973 a):

Biochemical and histochemical studies of the selenium-
deficient pancreas in chicks.

J.Nutr. 103, 444-453

NOGUCHI, T., A.H. CANTOR und M.L. SCOTT (1973 b):

Mode of action of selenium and vitamin E in prevention of exsudative diathesis in chicks.

J.Nutr. 103, 1502-1511

NRC (1977):

Nutrient requirements of domestic animals No 1.

Nutrient requirements of poultry. 7th revised ed.

National Research Council, National Academy of Sciences, Washington D.C.

OCHOA-SOLANO, A., und C. GITLER (1968):

Incorporation of ^{75}Se -selenomethionine and ^{35}S -methionine into chicken egg white proteins.

J.Nutr. 94, 243-248

OLSON, O.E., E.J. NOVACEK, E.I. WHITEHEAD und I.S. PALMER (1970):

Investigations on selenium in wheat.

Phytochemistry 9, 1181-1187

OMAYE, S.T., und A.L. TAPPEL (1974):

Effect of dietary selenium on glutathione peroxidase in the chick.

J.Nutr. 104, 747-753

ORT, J.F., und J.D. LATSHAW (1978):

The toxic level of sodium selenite in the diet of laying chickens.

J.Nutr. 108, 1114-1120

OSHINO, N., und B. CHANCE (1977):

Properties of glutathione release observed during reduction of organic hydroperoxides, demethylation of aminopyrine and oxidation of some substances in perfused rat liver, and their implication for the physiological function of catalase.

Biochem.J. 162, 509-525

OSMAN, M., und J.D. LATSHAW (1976):

Biological potency of selenium from sodium selenite, selenomethionine, and selenocystine in the chick.

Poult.Sci. 55, 987-994

PAGLIA, D.E., und W.N. VALENTINE (1967):

Studies on the quantitative and qualitative characterization of erythrocyte glutathione peroxidase.

J.Lab.Clin.Med. 70, 158-169

PALMER, I.S., D.D. FISCHER, A.W. HALVERSON und O.E. OLSON (1969):

Identification of a major selenium excretory product in rat urine.

Biochim.Biophys.Acta 177, 336

PIERCE, F.D., und H.R. BROWN (1976):

Inorganic interference study of automated arsenic and selenium determination with atomic absorption spectrometry.

Anal.Chem. 48, 693-695

PIERCE, S., und A.L. TAPPEL (1977):

Effects of selenite and selenomethionine on glutathione peroxidase in the rat.

J.Nutr. 107, 475-479

POLEY, W.E., und A.L. MOXON (1938):

Tolerance levels of seleniferous grains in laying rations.

Poult.Sci. 17, 72-76

POLEY, W.E., A.L. MOXON und K.W. FRANKE (1937):

Further studies of the effects of selenium poisoning.

Poult.Sci. 16, 219-225

PORTA, E.A., K.F. CHING und N.S. JOUN (1977):

Glutathione peroxidase system and microsomal lipoperoxidation in preneurotic stages of dietary hepatic necrosis in rats.

J.Nutr. 107, 1852-1858

RAPTIS, S.E. (1979):

Entwicklung neuer Methoden zur Bestimmung von Selenspuren in organischen und biologischen Proben.

Diss., Techn.Univ., Graz

RAPTIS, S.E., G. KAISER und G. TÖLC (1983):

A survey of selenium in the environment and a critical review of its determination at trace levels.

Fresenius Z.Anal.Chem. 316, 105-123

REMMER, H. (1982):

Schutzmechanismen des tierischen Organismus gegen Radikale und deren Folgeprodukte.

Der praktische Tierarzt 63, 778-790

ROBBINS, W.B., und J.A. CARUSO (1979):

Development of hydride generation methods for atomic spectroscopic analysis.

Anal.Chem. 51, 889 A

SACHS, L. (1978):

Angewandte Statistik. 5.Auflage.

Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York

SANDHOLM, M. (1980):

Biological and clinical aspects of selenium.

In: Metabolic disorders in farm animals.

Hrsg. von D. GIESECKE u.a., Institut für Physiologie, Vet.med.Fakultät der Universität München, 247-252

SCHÄFER, K., K. MÄNNER und K. BRONSCH (1982):

Einfluß von Selenzulagen auf die Glutathion-Peroxidase-Aktivitäten in Erythrocyten, Plasma und Leber bei Jung- und Legehennen.

Zbl.Vet.Med.A, 29, 271-278

SCHÄFER, K., und D. BEHNE (1984):

Selenbestimmungen in Futtermitteln und tierischen Geweben mit dem Hydrid-AAS-System nach Sauerstoffverbrennung. Vergleich mit der Neutronenaktivierungsanalyse.

Landwirtsch.Forsch. 37, 58-65

SCHÄFER, K., K. MÄNNER, D. WOLLGIEN und K. BRONSCH (1984):

Beitrag zur optimalen Selenversorgung von Junghennen.

Z.Tierphysiol., Tierernährg.u.Futtermittelkde. 51, 70-79

SCHEID, J.F. (1984):

AFMA files petition on selenium use.

Feedstuffs 56, 5

SCHMID, A. (1982):

Radikalbildung organischer Schadstoffe.

Der praktische Tierarzt 63, 801-807

SCHWARZ, K., und C.M. FOLTZ (1957):

Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration.

J.Am.Chem.Soc. 79, 3292-3293

SCOTT, M.L., und J.N. THOMPSON (1971):

Selenium content of feedstuffs and effects of dietary selenium levels upon tissue selenium in chicks and poults.

Poult.Sci. 50, 1742-1748

SIES, H., und K.-H. SUMMER (1975):

Hydroperoxide-metabolizing systems in rat liver.

Eur.J.Biochem. 57, 503-512

SIES, H., G.M. BARTOLI, R.F. BURK und C. WAYDHAS (1978):

Glutathione efflux from perfused rat liver after phenobarbital treatment, during drug oxidation, and in selenium deficiency.

Eur.J.Biochem. 89, 113-118

SMITH, A.E. (1975):

Interferences in the determination of elements that from volatile hydrides with sodium borohydride using atomic absorption spectrophotometry and the argon-hydrogen flame.

Analyst 100, 300-306

SMUTNÁ, M. E. PETROVSKÝ, J. PODANÝ, A. KONEČNÝ und O. SYNEK (1978):

Variability of the lipid peroxidation potential in the erythrocytes of the domestic fowl.

Acta vet.Brno 47, 137-143

- SUNDE, R.A., H.E. GANTHER und W.G. HOEKSTRA (1978):
A comparison of ovine liver and erythrocyte glutathione.
Fed.Proc. 37, 757
- TAPPEL, A.L., und C.J. DILLARD (1981):
In vivo lipid peroxidation: measurement via exhales pentane
and protection by vitamin E.
Fed.Proc. 40, 174-178
- THAPAR, N.T. E. GUENTHER, C.W. CARLSON und O.E. OLSON (1969):
Dietary selenium and arsenic additions to diets for chickens
over a life cycle.
Poult.Sci. 48, 1988-1993
- THOMPSON, J.N., und M.L. SCOTT (1970):
Impaired lipid and vitamin E absorption related to atrophy
of the pancreas in selenium deficient chicks.
J.Nutr. 100, 797-809
- TULLY, W.C., und K.W. FRANKE (1934):
The effect of a toxic grain on hatchability.
Poult.Sci. 13, 309 (Abstr.)
- ÜBERSCHAR, K.-H., H. VOGT, K. NEZEL und S. MATTHES (1982):
Verminderung der Cadmium-Toxizität bei Broilern durch
Selenzusätze zum Futter.
Arch.Geflügelk. 46, 9-13
- ULLREY, D.E. (1976):
Selenium in animal nutrition - health implications.
In: Proceedings of the Symposium of Selenium-Tellurium
in the Environment, Notre Dame, Indiana
Hrsg.v. Industrial Health Foundation Inc., Pittsburgh/Pa.
178-187
- WELZ, B., M. MELCHER und G. SCHLEMMER (1983):
Determination of selenium in human blood serum.
Comparison of two atomic-absorption spectrometric
procedures.
Fresenius Z.Anal.Chem. 316, 271-276

WENDEL, A., B. KERNER und K. GRAUPE (1978):

The selenium moiety of glutathione peroxidase.

In: Functions of glutathione in liver and kidney.

Hrsg.von H. SIES und A. WENDEL,

Springer-Verlag, Berlin, 107-113

WHITE, C.L., und M. SOMERS (1978):

The effects of varying dietary sulphate and selenomethionine on sulphur, nitrogen and selenium metabolism in sheep.

In: Trace element metabolism in man and animals. - 3.

KIRCHGEISSNER, M. (Hrsg.), Proc.3.International Symp.,

Freising, July 1977, 526-529

WHITE, C.L. (1980):

Sulfur-selenium studies in sheep. 2. Effect of a dietary sulfur deficiency on selenium and sulfur metabolism in sheep fed varying levels of selenomethionine.

Aust.J.Biol.Sci. 33, 699-707

WOLLGIEN, D. (1983):

Untersuchungen zur Selen-Versorgung von Junghennen.

Diss.vet.med., FU Berlin

YASUMOTO, K., K. IWAMI und M. YOSHIDA (1979):

Vitamin B₆ dependence of selenomethionine and selenite utilization for glutathion peroxidase in the rat.

J.Nutr. 109, 760 - 766

ZIMMERMANN, R. (1982):

Radikalbildung im tierischen Organismus und deren pathogenetische Bedeutung.

Der praktische Tierarzt 63, 770-778

9.0 ANHANG

Tabellen 15 - 19

Tabelle 15
Zootecnische Leistungen zwischen der 21. und 24. Lebenswoche

Gruppe		A	B	C	D
Tierzahl	n	61	62	62	62
14. - 16. LW					
Se in der Ration ab 17. LW Na ₂ SeO ₃ -Zulage	mg/kg	0,2	0,2	0,2	0,2
Se in der Ration	mg/kg	0,2	0,4	0,6	0,8
Lebendmasse Anfang 21. LW	kg	1,482 ± 0,039 100,0	1,457 ± 0,054 98,3	1,474 ± 0,078 99,5	1,450 ± 0,065 97,8
Lebendmasse Ende 24. LW	kg	1,572 ± 0,051 100,0	1,573 ± 0,042 100,1	1,585 ± 0,059 100,8	1,587 ± 0,062 100,9
Tägliche Zunahme	g	3 ± 3	4 ± 2	4 ± 2	5 ± 2
Futtermittelverzehr je Tier	kg	2,900 ± 0,130 100,0	2,902 ± 0,099 100,1	2,899 ± 0,176 100,0	2,919 ± 0,180 100,0
Futtermittelverzehr je Tier und Tag	g	104 ± 5 100,0	104 ± 4 100,0	104 ± 6 100,0	104 ± 6 100,0
Eizahl	n	16,4 ± 2,1 100,0	15,9 ± 1,6 97,0	16,1 ± 2,9 98,2	15,0 ± 1,6 91,5
Einzel-Eimasse	g	53,2 ± 3,9 100,0	53,2 ± 1,7 100,0	53,2 ± 1,4 100,0	54,2 ± 4,1 101,9
Gesamt-Eimasse	kg	0,867 ± 0,093 100,0	0,846 ± 0,092 97,6	0,858 ± 0,155 99,0	0,808 ± 0,077 93,2
Futteraufwand je kg Eimasse	kg	3,379 ± 0,378 100,0	3,461 ± 0,306 102,4	3,471 ± 0,581 102,7	3,632 ± 0,255 107,5

Tabelle 16

Zootechnische Leistungen zwischen der 25. und 28. Lebenswoche

Gruppe		A	B	C	D
Tierzahl	n	61	62	62	62
14. - 16. LW					
Se in der Ration	mg/kg	0,2	0,2	0,2	0,2
Ab 17. LW Na ₂ SeO ₃ -Zulage					
Se in der Ration	mg/kg	0,2	0,4	0,6	0,8
Lebendmasse Anfang 25. LW	kg	1,572 ± 0,051 100,0	1,573 ± 0,042 100,1	1,585 ± 0,059 100,8	1,587 ± 0,067 100,9
Lebendmasse Ende 28. LW	kg	1,676 ± 0,033 100,0	1,647 ± 0,031 98,3	1,675 ± 0,068 99,9	1,694 ± 0,062 101,1
Tägliche Zunahme	g	4 ± 2	3 ± 1	3 ± 1	4 ± 2
Futtermittelverzehr je Tier	kg	3,555 ± 0,101 100,0	3,538 ± 0,084 99,5	3,514 ± 0,185 98,8	3,601 ± 0,180 101,3
Futtermittelverzehr je Tier und Tag	g	127 ± 4 100,0	126 ± 3 99,2	126 ± 7 99,2	128 ± 6 100,8
Eizahl	n	26,6 ± 1,2 100,0	26,6 ± 0,6 100,0	26,2 ± 1,6 98,5	26,6 ± 0,5 100,0
Einzel-Eimasse	g	56,7 ± 1,5 100,0	57,7 ± 1,7 101,8	57,9 ± 1,3 102,1	57,9 ± 2,0 102,1
Gesamt-Eimasse	kg	1,516 ± 0,062 100,0	1,530 ± 0,044 100,9	1,519 ± 0,097 100,2	1,545 ± 0,050 101,9
Futtermittelaufwand je kg Eimasse	kg	2,348 ± 0,117 100,0	2,316 ± 0,077 98,6	2,320 ± 0,144 98,8	2,329 ± 0,144 99,2

Tabelle 17

Zootecnische Leistungen zwischen der 29. und 32. Lebenswoche

Gruppe		A	B	C	D
Tierzahl	n	49	49	50	50
14. - 16. LW					
Se in der Ration	mg/kg	0,2	0,2	0,2	0,2
Ab 17. LW Na ₂ SeO ₃ -Zulage					
Se in der Ration	mg/kg	0,2	0,4	0,6	0,8
Lebendmasse Anfang 29. LW	kg	1,676 ± 0,033 100,0	1,647 ± 0,031 98,3	1,675 ± 0,068 99,9	1,694 ± 0,062 101,1
Lebendmasse Ende 32. LW	kg	1,672 ± 0,039 100,0	1,712 ± 0,037 102,4	1,686 ± 0,065 100,8	1,693 ± 0,072 101,3
Tägliche Zunahme	g	0 ± 1 ^a	2 ± 1 ^b	1 ± 1 ^a	1 ± 1 ^a
Futtermittelverzehr je Tier	kg	3,491 ± 0,124 100,0	3,524 ± 0,080 100,9	3,544 ± 0,158 101,5	3,543 ± 0,142 101,5
Futtermittelverzehr je Tier und Tag	g	125 ± 5 100,0	126 ± 3 100,3	127 ± 6 101,6	127 ± 5 101,6
Eizahl	n	26,1 ± 1,8 100,0	26,6 ± 0,7 101,9	26,4 ± 0,5 101,1	26,5 ± 0,5 101,5
Einzel-Eimasse	g	60,7 ± 2,7 100,0	59,9 ± 1,1 98,7	60,6 ± 1,3 99,8	60,8 ± 1,9 100,2
Gesamt-Eimasse	kg	1,578 ± 0,085 100,0	1,597 ± 0,047 101,2	1,600 ± 0,046 101,4	1,605 ± 0,053 101,7
Futtermittelverwand je kg Eimasse	kg	2,218 ± 0,094 100,0	2,215 ± 0,063 99,9	2,215 ± 0,086 99,9	2,210 ± 0,136 99,6

Differenzen zwischen Gruppenmittelwerten, die nicht einen oder mehrere hochgestellte Buchstaben gemeinsam haben, sind nach dem Scheffé-Test mit mindestens $P < 0,05$ signifikant.

Tabelle 18
Zootecnische Leistungen zwischen der 33. und 36. Lebenswoche

Gruppe		A	B	C	D
Tierzahl	n	49	49	50	50
14. - 16. LW					
Se in der Ration ab 17. LW Na_2SeO_3 -Zulage	mg/kg	0,2	0,2	0,2	0,2
Se in der Ration	mg/kg	0,2	0,4	0,6	0,8
Lebendmasse Anfang 33. LW	kg	1,672 $\pm$ 0,039 100,0	1,712 $\pm$ 0,037 102,4	1,686 $\pm$ 0,065 100,8	1,693 $\pm$ 0,072 101,3
Lebendmasse Ende 36. LW	kg	1,706 $\pm$ 0,043 100,0	1,715 $\pm$ 0,056 100,5	1,700 $\pm$ 0,074 99,6	1,679 $\pm$ 0,087 98,4
Tägliche Zunahme	g	1 $\pm$ 2	0 $\pm$ 2	1 $\pm$ 1	0 $\pm$ 2
Futtermittelverzehr je Tier	kg	3,546 $\pm$ 0,122 100,0	3,625 $\pm$ 0,123 102,2	3,541 $\pm$ 0,143 99,9	3,509 $\pm$ 0,187 99,0
Futtermittelverzehr je Tier und Tag	g	127 $\pm$ 4 100,0	130 $\pm$ 5 102,4	126 $\pm$ 6 99,2	125 $\pm$ 7 98,4
Eizahl	n	26,4 $\pm$ 1,2 100,0	26,5 $\pm$ 0,7 100,4	26,6 $\pm$ 0,7 100,8	26,2 $\pm$ 1,8 99,2
Einzel-Eimasse	g	61,1 $\pm$ 1,1 100,0	62,1 $\pm$ 1,3 101,6	61,5 $\pm$ 1,8 100,7	62,0 $\pm$ 1,8 101,5
Gesamt-Eimasse	kg	1,613 $\pm$ 0,075 100,0	1,644 $\pm$ 0,037 101,9	1,640 $\pm$ 0,062 101,7	1,621 $\pm$ 0,113 100,5
Futteraufwand je kg Eimasse	kg	2,231 $\pm$ 0,129 100,0	2,207 $\pm$ 0,094 98,9	2,155 $\pm$ 0,061 96,6	2,169 $\pm$ 0,102 97,2

Tabelle 19
Zootecnische Leistungen zwischen der 37. und 40. Lebenswoche

Gruppe		A	B	C	D
Tierzahl	n	49	49	50	50
14. - 16. LW					
Se in der Ration ab 17. LW Na ₂ SeO ₃ -Zulage	mg/kg	0,2	0,2	0,2	0,2
Se in der Ration	mg/kg	0,2	0,4	0,6	0,8
Lebendmasse Anfang 37. LW	kg	1,706 ± 0,043 100,0	1,715 ± 0,056 100,5	1,700 ± 0,074 99,6	1,679 ± 0,087 98,4
Lebendmasse Ende 40. LW	kg	1,760 ± 0,066 100,0	1,764 ± 0,051 100,2	1,754 ± 0,097 99,7	1,740 ± 0,071 98,9
Tägliche Zunahme	g	2 ± 2	2 ± 2	2 ± 2	2 ± 2
Futtermittelverzehr je Tier	kg	3,527 ± 0,113 100,0	3,505 ± 0,132 99,4	3,497 ± 0,154 99,1	3,450 ± 0,178 97,8
Futtermittelverzehr je Tier und Tag	g	126 ± 4 100,0	125 ± 5 99,2	125 ± 6 99,2	123 ± 6 97,6
Eizahl	n	26,0 ± 1,2 100,0	26,5 ± 0,9 101,9	26,6 ± 0,8 102,3	25,3 ± 2,5 97,3
Einzel-Eimasse	g	62,7 ± 1,5 100,0	62,3 ± 1,2 99,4	62,7 ± 1,7 100,0	62,2 ± 1,8 99,2
Gesamt-Eimasse	kg	1,630 ± 0,080 100,0	1,647 ± 0,061 101,0	1,663 ± 0,067 102,0	1,572 ± 0,150 96,4
Futteraufwand je kg Eimasse	kg	2,166 ± 0,092 100,0	2,131 ± 0,103 98,4	2,104 ± 0,060 97,1	2,208 ± 0,180 101,5

DANKSAGUNGEN

Mein Dank für die Unterstützung bei der Entstehung der vorliegenden Dissertation gilt vornehmlich folgenden Personen :

- Herrn Prof.K.Bronsch für die Überlassung des Themas und die hilfreichen Diskussionen bei der Durcharbeitung des Manuskriptes
- Herrn Dr.K.Schäfer für die stets gewährte Unterstützung
- Herrn Dr.K.Männer für die große Hilfe bei der Versuchsbetreuung
- Frau H. Albrecht und Frau I. Grosser für die Hilfe bei der Durchführung der Analysen
- Frau M. Drzymala für die Betreuung der Versuchstiere und Frau A.-M.Woelffel für die Abschrift des Manuskriptes

LEBENS LAUF

Am 3. März 1955 wurde ich als Sohn von Josef Irsch und Josefine Irsch, geb. Oberkirch, in Saarburg geboren. Am gleichen Ort besuchte ich von 1960 - 1973 Volksschule und Gymnasium. Den Grundwehrdienst leistete ich 1973 - 1974 ab. Von 1974 - 1980 studierte ich an der Freien Universität Berlin Veterinärmedizin und erhielt im Februar 1980 die Approbation als Tierarzt. Seit Mai 1980 arbeite ich am Institut für Tierzucht und Tierernährung, Fachbereich Veterinärmedizin, der Freien Universität Berlin als wissenschaftlicher Mitarbeiter.

